
Creación de una metodología y una métrica para el mapeado de zonas urbanas y la generación automática de rutas seguras para personas ciegas y con baja visión



Trabajo Fin de Máster en Sistemas Inteligentes

Alberto Carrión Tamaral

Dirigido por los Doctores

Pablo Gervás Gomez-Navarro

Raquel Hervás Ballesteros

Gonzalo Méndez Pozo

Máster en Investigación en Informática

Facultad de Informática

Universidad Complutense de Madrid

Curso 2014 - 2015

Documento maquetado con T_EX_S v.1.0+.

Este documento está preparado para ser imprimido a doble cara.

Creación de una metodología y una métrica para el mapeado de zonas urbanas y la generación automática de rutas seguras para personas ciegas y con baja visión

Trabajo final de Máster en Investigación en Informática
Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial

Alberto Carrión Tamaral

Dirigido por los Doctores

Pablo Gervás Gomez-Navarro

Raquel Hervás Ballesteros

Gonzalo Méndez Pozo

Máster en Investigación en Informática
Facultad de Informática
Universidad Complutense de Madrid

Curso 2014 - 2015

Copyright © Alberto Carrión Tamaral

A mi hija Elsa
(04-08-2015)

Agradecimientos

You can design and create, and build the most wonderful place in the world. But it takes people to make the dream a reality.

Walt Disney

Como decía Walt Disney, puedes tener la idea y crear el lugar más maravilloso del mundo, pero necesitas a la gente para poder hacer el sueño realidad y, desde estas líneas, quiero agradecer a todas las personas que me han apoyado siempre en cada logro y en cada fracaso de mi vida. Sin ellas, habría sentido que algo me habría faltado durante todo el camino hasta conseguir las metas que hoy he alcanzado. Además, el camino habría sido, sin duda, mucho más difícil.

Así que muchas gracias a mis padres, mi hermano y el resto de mi familia por hacerme todo mucho más fácil y darme esos ánimos que no tenía en los momentos en que las fuerzas te abandonan y te hacen dudar de todo.

A los amigos, que me han ayudado a despejar la mente en los momentos más duros y haciéndome sentir una brisa de aire fresco cuando más lo necesitaba.

A mis directores de tesis, por ofrecerme su confianza y tiempo para conseguir que esta tesis llegase a buen puerto.

Y finalmente, a mi esposa Conchi, a la que querría agradecer especialmente los últimos años de apoyo, ilusión y experiencias por las que hemos pasado, incluido el nacimiento de mi hija Elsa, a quien quiero dedicar con especial cariño esta tesis.

Resumen

En esta tesis, se va a abordar el problema de la creación de rutas seguras para personas ciegas o con baja visión y todo lo que sea necesario para generarlas.

A lo largo de la tesis, se verá cómo ya han sido tratados anteriormente temas similares en otros trabajos, pero ninguno se ha impuesto como un estándar sobre los demás, lo cual hace pensar que sigue siendo necesario investigar sobre este tema.

Para realizar nuestra investigación, además de estudiar los sistemas ya existentes, hemos hecho un estudio sobre las tecnologías que podrían ser necesarias para conseguir nuestro objetivo.

Debido al gran componente social de este estudio, hemos mantenido una estrecha relación con el grupo de personas objetivo de la investigación, por medio de un formulario con el que extraer información valiosa sobre este tema. Asimismo, hemos realizado una serie de tests de campo, con los que evaluar diferentes aspectos del mismo.

Posteriormente, con toda la información adquirida, se creó una metodología para adquirir información sobre las zonas urbanas, atendiendo a las preferencias de los usuarios. Se diseñaron formas de marcar diversos tipos de topologías o problemáticas y se creó una métrica altamente configurable para el cálculo lógico de las rutas más seguras posibles para cada usuarios.

Finalmente, se creó un prototipo de aplicación capaz de demostrar que la implementación del modelo descrito teóricamente era factible. Se mostrará cómo se adaptó dicha aplicación para crear un completo banco de pruebas, capaz de evaluar los resultados obtenidos con la métrica creada, en comparación con un sistema que usase una métrica basada solo en la distancia recorrida.

Palabras clave: invidentes, guiado, rutas seguras, accesibilidad, cruces, geolocalización, métrica, obstáculos, orientación, peatonal

Abstract

This thesis deals with the generation of safe routes for blind and visually impaired people, the problems involved and every necessary aspect to create them.

In this thesis, we will show how similar subjects have been analyzed in different studies before. However, none of these studies has prevailed as a standard in this field. As a result, we consider it is still necessary to investigate into this matter.

To carry out our investigation, we study the existing systems and make a survey on the technologies we might need to reach our goal.

This study includes an important social aspect. Therefore, our relations with the target of the investigation have been very close thanks to a poll we have prepared, which has provided highly useful information on the subject. Furthermore, a series of field tests have been carried out to assess various aspects.

The information gathered from tests and polls has been then used to design a methodology to collect information on urban areas, according to users' preferences. Besides, different ways to show various topologies or possible obstacles have been developed, and some metrics have been established that are easy to customize according to the needs of the users in order to calculate the safest possible routes logically.

Finally, an application prototype has been developed, which shows that the implementation of the model described in theory is feasible. Moreover, we show how this application was adapted to generate a comprehensive test bench aimed at validating the results gathered through the metrics created, compared to a system using metrics only based on the distance covered.

Key words: blind, guide, safe routes, accessibility, crossings, geolocation, metrics, obstacles, orientation, pedestrian

Índice

Agradecimientos	VII
Resumen	IX
Abstract	XI
1. Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Motivación	2
1.3. Visión General	4
1.3.1. Obtención de información relevante	4
1.3.2. Enriquecimiento dirigido de la información	4
1.3.3. Manejo de eventos puntuales	5
1.3.4. Presentación de la información e interfaces	5
1.3.5. Adaptabilidad al usuario	5
1.4. Objetivos	6
1.5. Estructura del Documento	7
2. Sistemas de guiado y asistencia a la movilidad de personas ciegas o con baja visión	9
2.1. Análisis de sistemas de guiado/orientación	9
2.1.1. Sistemas de exterior	10
2.1.2. Sistemas híbridos (Interior + Exterior)	11
2.1.3. Sistemas orientados a problemas concretos	13
2.1.4. Otros sistemas	13
2.2. Discusión	14
2.2.1. Métodos de ubicación del usuario	14
2.2.2. Métodos de planificación de rutas	14
2.2.3. Tipo de información que facilitar al usuario y medios y forma en que hacerlo	15
2.2.4. Anuncio de obstáculos en las rutas	15

3. Análisis de las tecnologías	17
3.1. Sistema de localización de personas y lugares	17
3.1.1. Sistemas de satélites	18
3.1.2. Balizas <i>Bluetooth</i> (<i>iBeacons</i>)	20
3.2. Sistemas para generar y almacenar información de las redes urbanas	21
3.2.1. Google Maps	21
3.2.2. Bing Maps	23
3.2.3. Apple Maps	23
3.2.4. Nokia HERE	24
3.2.5. OpenStreetMaps (OSM)	25
3.3. Interacción con el usuario	28
3.3.1. Capa de accesibilidad en teléfonos inteligentes	28
3.3.2. Envío de órdenes	30
3.3.3. Interfaz de comunicación	30
4. Identificación de las necesidades de los usuarios y resolución de problemas asociados	33
4.1. Necesidad de obtener información	33
4.2. Creación de un formulario para la extracción de información .	34
4.2.1. Diseño de un formulario para recoger información . . .	34
4.2.1.1. Sección para el estudio sociodemográfico . . .	35
4.2.1.2. Sección para la extracción de información re- levante	35
4.2.2. Análisis de las respuestas	37
4.2.2.1. Sección para el estudio sociodemográfico . . .	38
4.2.2.2. Sección para la extracción de información re- levante	38
4.3. Resultados de la adquisición de información	40
4.4. Resolución de problemas secundarios	41
4.4.1. Problema de la interacción con el usuario	41
4.4.1.1. Experimento para evaluar métodos de per- cepción de la información	42
4.4.1.2. Experimento para la evaluación de la percep- ción de información	43
4.4.2. Problema de los obstáculos de carácter temporal . . .	44
4.4.2.1. Evaluación del posible problema	44
4.4.2.2. Posible solución mediante el uso de balizas <i>bluetooth</i>	45
5. Creación de una métrica y un método de mapeado para ma- pear zonas urbanas	47

5.1.	Mapeo de áreas urbanas orientado a peatones	47
5.2.	Representación de la información del plano	50
5.3.	Modelado de cruces de calles	55
5.3.1.	Diseño de una métrica para el pesado de cruces	59
5.3.2.	Representación de los pasos de peatones	62
5.4.	Modelado de vías peatonales	66
5.4.1.	Diseño de una métrica para las vías peatonales	68
5.4.2.	Representación de vías peatonales	70
5.5.	Modelado y representación de vías destinadas al tráfico	73
5.6.	Metodología para la descripción de un área	74
5.6.1.	Primera fase: Adquisición de los puntos clave de la topología	75
5.6.2.	Segunda fase: Identificación de obstáculos a lo largo de las rutas	77
5.6.3.	Tercera fase: Adquisición de puntos de la topología secundaria	77
5.6.4.	Cuarta fase: Identificación de obstáculos a lo largo de las vías secundarias	78
5.6.5.	Quinta fase: Completado de la topología con las rutas entre nodos	78
5.6.6.	Ejemplo de mapeado siguiendo la metodología	79
6.	Validación de las métricas y la metodología para la creación de rutas seguras	85
6.1.	Creación de un prototipo para validar la métrica y la metodología	85
6.2.	Tests de evaluación del método y la métrica	89
6.2.1.	Diseño de test (validación pasos de peatones)	90
6.2.2.	Ejecución de tests (validación pasos de peatones)	91
6.2.3.	Análisis y validación de los tests (validación pasos de peatones)	91
6.2.4.	Diseño de tests (validación de obstáculos)	94
6.2.5.	Ejecución de tests	94
6.2.6.	Análisis y validación de los tests	96
7.	Conclusiones y trabajo futuro	101
7.1.	Conclusiones	101
7.1.1.	Mapeado de zonas para el cálculo de rutas seguras	101
7.1.2.	Comprensión de los problemas reales del tránsito	103
7.1.3.	Interacción con el usuario	103
7.1.4.	Obstáculos de carácter temporal	104
7.2.	Líneas de trabajo futuro	104

I	Apéndices	109
A.	Encuesta para obtención de información	111
A.1.	Encuesta	111
A.2.	Listado de elementos y circunstancias significativos para los peatones cuando circulan por vías urbanas	114
B.	Validación de resultados	117
B.1.	Descripción del área de trabajo	117
B.2.	Pesos de los cruces y los obstáculos	126
B.3.	Resultados simplificados de la validación de pasos de peatones	126
B.4.	Resultado simplificado para la validación de rutas coincidentes con el uso de pasos de peatones	131
B.5.	Resultados cuantitativos validación obstáculos	133
B.5.1.	Situación Inicial	134
B.5.2.	Segunda simulación (obstáculos en 51, 52, 66, 67 y 68)	136
B.5.3.	Tercera simulación(obstáculos en 51, 52, 66, 67 y 68 con mayores pesos)	138
B.5.4.	Cuarta simulación(obstáculos en 49, 50 y 65)	140
	Bibliografía	143
	Autorización de difusión	147

Índice de figuras

5.1. Vías Compartidas (izq) vías separadas (der)	48
5.2. Cruce vías Compartidas (izq) cruce vías separadas (der) . . .	49
5.3. Vía ancha con vías compartidas)	50
5.4. Obstáculo en el medio de una vía)	51
5.5. Tipos de cruces.	56
5.6. Cruce recto Vs Cruce en ángulo.	58
5.7. Cruces con rotondas.	59
5.8. Crecimiento lineal Vs $n_0 = 6$ Vs $n_0 = 8$	61
5.9. Factores para cruces con $n_0=6$	63
5.10. Cruce en ángulo.	65
5.11. Colocación de nodos en esquinas y cruces.	76
5.12. Colocación de nodos en paseos y avenidas.	76
5.13. Enrutado en curva de izquierda a derecha: se sale de la vía; sobrepasa el límite de $1/6$; enrutado correcto.	77
5.14. Esquema del área a mapear.	79
5.15. Nodos identificados en Primera fase (Izquierda) y Segunda fase (Derecha).	79
5.16. Nodos identificados en Tercera fase (Izquierda) y Cuarta fase (Derecha).	80
5.17. Área mapeada con nodos y aristas.	80
5.18. Agregando un velador al área mapeada.	83
6.1. Diagrama de posibilidades de una arquitectura cliente-servidor. .	87
6.2. Diagrama de los módulos del servidor.	88
6.3. Mapa y representación del area de trabajo.	90
6.4. Puntos más visitados sin obstáculos.	95
6.5. Puntos más visitados: primera simulación con obstáculos . . .	97
6.6. Puntos más visitados: segunda simulación con obstáculos. . .	98
6.7. Puntos más visitados: simulación alternativa con obstáculos. .	100

Indice de listados

5.1. Formato XML de OSM.	51
5.2. Ejemplo de documento xml de OSM.	53
5.3. Formato XML simplificado.	54
5.4. Paso tipo1 sencillo sin semáforo.	65
5.5. Paso tipo3 complejo con semáforo sonoro.	66
5.6. Ejemplo de mapeado pasando por un obstáculo en el tránsito.	72
5.7. Ejemplo de mapeado pasando por un obstáculo puntual y otro de arista en el tránsito.	72
5.8. Ejemplo de mapeado pasando por un obstáculo puntual y otro de arista en el tránsito (alternativa).	73
5.9. Listado de ejemplo	80
5.10. Agregando un velador al listado	83
6.1. Agregando obstáculos para la simulación	96
6.2. Agregando obstáculos adicionales para la simulación	99
B.1. Archivo xml descriptor del área de simulación.	117
B.2. Archivo properties descriptor de los pesos de obstáculos.	126

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

Como es natural, todos nos vemos obligados cada día a hacer desplazamientos en nuestro entorno. Normalmente, suele ser a lugares que conocemos y a los que estamos acostumbrados a llegar de una forma más o menos automática, sin tener que pensar mucho, ya que conocemos todo lo que hay en dichos recorridos. Sin embargo, en ocasiones, nos vemos obligados a modificar nuestras rutinas por diferentes razones. Se puede dar la circunstancia de que en uno de nuestros recorridos, haya sucedido algo que impida que podamos ir por ese camino o, simplemente, que tengamos que desplazarnos a algún lugar al que, sencillamente, no sepamos cómo llegar.

En la actualidad, situaciones como la que se ha descrito (explorar zonas desconocidas) se han visto atajadas (y normalmente resueltas) gracias a la tecnología, ya que ésta, por medio de los terminales móviles (tales como teléfonos inteligentes), nos ofrece la posibilidad de utilizar en cualquier momento servicios de navegación, que, conociendo nuestra ubicación, son capaces de ofrecernos caminos para poder llegar a nuestro destino. Dichos caminos se nos muestran por medio de instrucciones e imágenes sobre un plano.

Estas situaciones pueden crear en nosotros un sentimiento de rechazo, ya que a nadie le suele gustar que le cambien la forma en la que hace las cosas. Sin embargo, esta situación y el sentimiento de rechazo se ve incrementado cuando nos referimos a personas con problemas en la vista a las que estos cambios les pueden producir verdaderos problemas. En esta tesis buscaremos la forma en la que poder paliar estos problemas intentando crear una manera para ayudarles a poder encontrar siempre un camino adecuado por el que no se encuentren incómodos y que minimice los problemas que pudieran aparecer en el tránsito.

1.2. Motivación

Situaciones como la que se ha comentado en el punto anterior pueden afectar a un gran número de personas en el mundo. Según datos de la Organización mundial de la salud (OMS), en el mundo hay alrededor de 285 millones de personas con problemas de visión; de las cuales, 39 millones son personas consideradas ciegas y el resto se encuadra en diversos niveles de pérdida de visión. De entre esos 246 millones de personas con problemas en la vista, una cierta cantidad sufre una pérdida de la misma que no se puede corregir mediante el uso de gafas, lentes de contacto, medicamentos o cirugía y que, además, pueden tener dificultades a la hora de llevar a cabo alguna de sus labores diarias.

Según las definiciones de la American Foundation for the blind., en esta tesis, vamos a referirnos con el término de “personas con baja visión” a aquellas personas que se encuentran dentro de este último grupo al que hemos hecho referencia (personas con una pérdida de visión que no se puede corregir y que les puede producir problemas a la hora de realizar sus labores diarias). Por otra parte, hablaremos de persona ciega cuando nos refiramos a aquella que carece totalmente de visión o que posee una agudeza visual muy limitada, que apenas le permite distinguir sombras o luces.

Teniendo las definiciones anteriores en cuenta, podemos comprender que la situación que se nos presentaba es mucho más problemática, puesto que nos enfrentamos a un nuevo entorno, con multitud de posibles barreras que, en este caso, ni siquiera podemos percibir de forma anticipada por medio de la vista, o porque, en muchas ocasiones, se ofrecen instrucciones centradas en la percepción visual, que, en esta situación, serán de utilidad nula o, en el mejor de los casos, bastante restringida.

Pese a todos los avances que podemos encontrar en la actualidad y que, según hemos citado, suelen ayudar a resolver este problema, las tecnologías que nos podemos encontrar hoy día tienen ciertas carencias como para poder ser de utilidad real en situaciones como las del problema que se va a abordar en esta tesis.

Una persona con baja visión o ciega podría necesitar una descripción más detallada de los elementos que se podría encontrar en el camino o en el destino. Por lo general, estas descripciones son nulas o, en el mejor de los casos, se pueden obtener observando elementos representados gráficamente en el mapa. Algunos ejemplos podrían ser: áreas verdes que representen un parque o flechas que indiquen el sentido de circulación del tráfico. Estos elementos podrían ser de gran utilidad para una persona con las características que nos ocupan, ya que servirían para proporcionar al individuo información sobre su ubicación y le comunicarían de un modo natural que está llegando por la ruta correcta y que no se ha equivocado. Sin embargo, como ya se ha señalado, estos datos, si es que se llegan a ofrecer, se representan de forma

gráfica. Con lo cual, es probable que la persona que esté utilizando dicha aplicación no tenga acceso a la información visual.

Por otra parte, la información de navegación para peatones suele utilizar las bases de datos de circulación para vehículos. Con lo cual, las rutas que se calculan no suelen ser del todo seguras, ya que pueden no tener en cuenta la presencia de pasos de peatones, semáforos o vallas de separación entre el tráfico y los peatones. Por todo ello, se hace necesario crear bases de datos para peatones que les ofrezcan rutas seguras, en lugar de utilizar rutas destinadas al tráfico rodado.

Las rutas seguras a las que se ha hecho referencia en el punto anterior y a las que nos referiremos en múltiples ocasiones a lo largo de toda la tesis son rutas que garantizan que el peatón va a circular por un camino en el cual se va a encontrar el mínimo número posible de situaciones conflictivas de carácter urbanístico (obstáculos, cruces conflictivos) o que la dificultad absoluta a lo largo de toda la ruta va a ser la mínima posible, atendiendo a este tipo de obstáculos.

En otras ocasiones, nos encontramos con sistemas que han intentado ofrecer rutas seguras, pero que se han elaborado en un entorno cerrado y, por tanto, no resulta fácil extenderlos o mantenerlos. Por ello, su implantación se torna harto complicada.

Por otra parte, también podemos encontrarnos con dispositivos muy específicos, desarrollados para el uso por parte de estas personas y que están orientados a interfaces de tipo audio/mecánico (uso de botones, celdas braille y uso de sonidos), a diferencia de aquellos a los que estamos más acostumbrados en la actualidad (uso de imágenes y terminales táctiles). Dichos terminales específicos son poco versátiles y están orientados casi exclusivamente a este único uso, lo cual les convierte en productos que pueden ser interesantes, pero cuya fabricación y distribución suelen ser caras, al no estar dirigidos a un público generalista.

Así pues vemos que una persona ciega o con baja visión no tiene posibilidad de acceder a información que le sea relevante al no ser ni tan siquiera capturada la información existente para el uso por peatones, no tiene la posibilidad de acceder a unos interfaces fácilmente disponibles o accesibles económicamente al no usarse dispositivos standard y que finalmente tiene problemas para, incluso en lugares conocidos, localizar obstáculos de carácter temporal o pasajero.

Por todo ello, nos hemos visto motivados a buscar una solución a la hora de enfrentarnos a estos problemas. Para ello, estudiaremos la información relevante que mapear en las zonas urbanas, estudiaremos la complejidad de determinadas topologías y de diferentes obstáculos y, finalmente, plantearemos una forma de planificar rutas seguras en ciudades mediante el uso de la información relevante extraída de los procesos anteriores. Además, observaremos cuáles deberían ser las mejores formas de interactuar con el usuario y

plantearemos una posible solución para el problema de obstáculos de carácter temporal ya mencionado en la introducción y que aparecerá más adelante en la tesis.

1.3. Visión General

Si nos detenemos un instante a analizar la situación plasmada en los puntos anteriores, se puede observar fácilmente que nos encontramos ante un problema complejo que consta de una gran cantidad de variables, que van desde la forma en que se recoge información, hasta el modo en el que se debe presentar al usuario una ruta lo más segura posible, pasando por los dispositivos que se tienen que utilizar en todo momento para que sean accesibles para el usuario final.

En los siguientes puntos, vamos a ofrecer una visión general acerca de los principales factores que podrían ser susceptibles de ser estudiados y resueltos a la hora de diseñar un sistema completo, capaz de hacer frente a una situación como la anterior.

1.3.1. Obtención de información relevante

Como ya se ha señalado en el punto anterior, nos encontramos con que la forma en que los sistemas tradicionales de guiado para peatones se sustentan en el uso de bases de datos muy generales y que, en la mayoría de los casos, dichas bases de datos se nutren de información centrada en el tráfico rodado. Con lo cual, el detalle al que pueden llegar es muy vago y, en ocasiones, poco útil para el peatón.

Por tanto, el primer punto en el que hay que centrarse a la hora de crear un sistema que realmente sea útil es en la adquisición de las topologías de las calles de un modo que se preste una mayor atención al peatón, en lugar de estar principalmente centrado en los automóviles que, en líneas generales, transitan por vías diferenciadas.

1.3.2. Enriquecimiento dirigido de la información

No solo es un problema que no tengamos unas bases de datos centradas en peatones, sino que el conjunto de usuarios en los que se centra esta tesis requiere que las vías ofrezcan información adicional que permita tener un mejor conocimiento de las mismas y de la topología que forman, ya que el camino más corto no siempre es el mejor (como sucede en este caso).

Por eso, surge el siguiente problema: se debe encontrar la forma óptima de enriquecer las bases de datos y es necesario establecer una manera de manejar toda la información para poder generar un conocimiento adaptado a las necesidades específicas del colectivo con el que se está trabajando, de

modo que se pueda ofrecer las rutas más seguras posibles, que serían las más deseables en el caso de estudio.

1.3.3. Manejo de eventos puntuales

En la sociedad en la que vivimos hoy día, es muy importante tener en cuenta el dinamismo de la ciudad, ya que esto puede acarrear problemas en situaciones como la que se está estudiando. Por ejemplo, la presencia de obras en la calle puede hacer que el tránsito por una zona se vea dificultado o que, directamente, no sea posible.

En circunstancias normales, esto podría ser fácilmente evitable; pero en otras, puede suponer un grave problema, del que, como mínimo, es necesario informar al individuo que se está desplazando por dicha zona o sugerirle una nueva ruta para evitar el tránsito por la zona en la que se encuentra este evento de carácter temporal. Sin embargo, para ello, resulta necesario investigar formas de avisar al individuo automáticamente.

1.3.4. Presentación de la información e interfaces

Como ya se ha señalado con anterioridad, la forma en que presentemos la información a un usuario es de gran importancia, ya que hay que hacerlo por medio de un formato legible para el usuario final que debe poder utilizar medios que estén a su alcance.

Esto supone un problema, ya que no se debe ser demasiado invasivo como para generar más problemas al usuario de los que se resuelven, al tiempo que habrá que ser suficientemente claro como para que se comprenda lo que se quiere decir, sin dejar ningún dato fundamental sin mencionar.

Además, el interfaz tiene que ser usable, ya que algo demasiado aparatoso puede ser más molesto que útil y tampoco debe ser algo con un precio prohibitivo, sino más bien algo que esté al alcance de la mayoría.

1.3.5. Adaptabilidad al usuario

La adaptabilidad del sistema también supone un factor que tener en cuenta, ya que, por una parte, estamos ante entornos cambiantes (como ya se ha señalado anteriormente) y, por otra parte, el colectivo objetivo es suficientemente heterogéneo como para que cada paso o sección de las que pudiera disponer el sistema tenga que adaptarse a las necesidades y gustos de cada individuo.

La adaptabilidad del sistema no es solamente un factor de efectividad del sistema, también puede desempeñar un papel sociológico, puesto que es necesario adaptarse al usuario de una forma dinámica e inteligente para no agobiarle con demasiada información (aunque la requiera) o para no despertar en él una sensación de abandono (si el usuario no requiere demasiada

información).

Para ello, resulta de gran importancia plantearse todas las fases del sistema de una forma muy próxima al usuario. Asimismo, hay que dotar a cada elemento del sistema de una alta configurabilidad para poder adaptarse a diferentes modelos de usuario.

1.4. Objetivos

En el apartado anterior, se ha enumerado una serie de problemas que surgen al analizar una situación como la que es objeto de estudio. Sin embargo, el estudio de todos estos puntos y la creación de un sistema completo, capaz de cubrir todos los apartados expuestos, sería un trabajo que se saldría del alcance de una tesis de este tipo.

Así pues, la lista de objetivos de la tesis se limitará a un subconjunto de los que podrían aparecer si analizásemos todos los problemas que se podrían encontrar al analizar los puntos anteriores.

El primero de ellos será conseguir una mayor comprensión de los problemas que realmente afectan a los usuarios. Para lo cual, realizaremos una serie de experimentos y encuestas que ayuden a comprender mejor la problemática planteada y el tipo de información necesaria para diseñar bases de conocimiento que sean de utilidad para resolver el problema. Con los resultados de estos estudios, podremos plantear posibles soluciones a algunos de los problemas anteriormente descritos, desde un mejor conocimiento del tema.

El siguiente objetivo consistirá en crear una metodología capaz de mapear áreas peatonales con toda la información relevante para los peatones objetivo del estudio. Para ello, nos apoyaremos en los resultados obtenidos de las encuestas, con el fin de crear/completar bases de conocimiento específicas que describan con mayor detalle las zonas de tránsito para peatones.

El siguiente objetivo será diseñar un método que sea capaz de generar rutas seguras para los peatones con baja visión o ciegos. Para ello, haremos uso de las bases de datos que hayamos podido desarrollar y utilizaremos una vez más los resultados de las encuestas y experimentos, para intentar crear métricas que ayuden a elegir cuáles son los mejores caminos, basándonos en las preferencias de los usuarios y en las características que se puedan ver en las vías de forma objetiva.

Con el fin de validar todos los resultados que se haya obtenido en la búsqueda de la consecución de los objetivos, también se desarrollará un prototipo que sea capaz de validar dichos resultados.

Así pues, podemos decir que el objetivo principal de la tesis es contar con un método de mapeado de regiones y una serie de métricas contrastadas que sean capaces de garantizar que pueden ofrecer a un peatón con las características objeto del presente estudio, una ruta que seguir para desplazarse

entre dos puntos de un plano.

1.5. Estructura del Documento

Este documento se divide en varios capítulos, que se han desarrollado para explicar las diferentes fases que han compuesto el estudio de esta tesis.

El primer capítulo, que es en el que nos encontramos, presenta una introducción al tema que se va a tratar y muestra una situación inicial alrededor de la cual, se organizará todo el trabajo. Asimismo, se realiza una primera aproximación a los problemas que se van a tratar y se enumeran los objetivos que se desea alcanzar mediante el desarrollo de la tesis.

El segundo capítulo va dirigido a realizar un estudio sobre los diferentes sistemas ya existentes o que se han estudiado con anterioridad, para tratar el problema de la tesis o temas similares. De aquí, se extraerá en la segunda parte varios asuntos sobre los que hacer una discusión, acerca de la cual, en el capítulo siguiente, se buscará o explicará tecnologías afines.

El tercer capítulo como se ha mencionado, explica diversas tecnologías para los diferentes temas de interés, para los que hay que buscar información y elegir cuáles serán las tecnologías más adecuadas para nuestro trabajo.

En el cuarto capítulo, comienza la aportación que se ofrece con este trabajo. En la primera parte, se podrá ver un formulario y los resultados obtenidos. Dicho formulario se hizo para obtener información de primera mano, con el fin de comprender mejor el problema al que nos enfrentamos. La segunda parte del capítulo se ha utilizado para resolver varios de los problemas que han surgido mediante la creación de prototipos y experimentos.

El quinto capítulo recoge el grueso del trabajo. Se verá cómo se creó la metodología para representar distintos tipos de elementos urbanos, así como la forma de proceder para mapear zonas urbanas y cómo se ha creado una métrica adecuada para el cálculo de rutas seguras.

El sexto capítulo se centra en demostrar que todo lo que se ha planteado teóricamente en el quinto capítulo se puede implementar. Además, mostrará cómo los resultados que se obtienen son válidos. Para ello, se verá como se creó un banco de pruebas, capaces de justificar los resultados.

El séptimo capítulo será el último de los capítulos regulares de la tesis. En él, se presentará las conclusiones a las que hemos llegado y se sugerirá cuáles podrían ser las líneas de trabajo a partir de las que se podría continuar el trabajo realizado en esta tesis.

Idealmente, la tesis está creada para ser leída en orden, desde el principio hasta el final. No obstante, si se está interesado en ir al núcleo de la tesis, se recomienda leer los capítulos en los que se aporta información original, creada en la propia tesis, así como el presente capítulo, para comprender la motivación de este trabajo. Por tanto, en este caso, se debería leer los capítulos 1, 4, 5, 6 y 7.

El capítulo 3 se puede leer de forma independiente a la tesis si se está interesado en tener una idea general de las tecnologías que se tratan en dicho capítulo y que se pueden consultar en el índice.

El capítulo 2 puede servir simplemente para hacerse una idea acerca de los sistemas ya existentes en el mercado, relativos a sistemas para guiado y orientación para personas con problemas en la vista.

Si simplemente se desea conocer cuál es el desarrollo principal de la tesis y obviar todo lo que está a su alrededor, esto se encuentra desarrollado, como ya se ha indicado anteriormente, en el capítulo 5. Sin embargo, es posible que algunos aspectos no se terminen de comprender.

Además, cabe comentar que en la parte final del trabajo, se ha agregado dos Apéndices con información acerca del formulario creado para la obtención de datos. En el apéndice A, se ha recogido el formulario en sí, con sus opciones en las preguntas que no eran de desarrollo y un listado de temas o situaciones que los encuestados consideraban interesantes para tener en cuenta a la hora de calcular rutas seguras. En el Apéndice B, se ha listado el código xml que ha descrito la zona mapeada para realizar las pruebas de validación, así como los resultados cuantitativos simplificados de las simulaciones que se realizaron al validar la metodología y las métricas.

Capítulo 2

Sistemas de guiado y asistencia a la movilidad de personas ciegas o con baja visión

RESUMEN: En este capítulo, se presenta un estudio acerca de los diferentes sistemas que existen en la actualidad para el guiado y orientación de personas con baja visión y ciegas, principalmente para exteriores. En especial, se estudia sus características y cuáles son sus puntos fuertes y débiles. Posteriormente, se verá cuáles son las características que nos interesa que se desarrollen en nuestra tesis y haremos una recapitulación acerca de las tendencias que tienen todos estos sistemas que se ha estudiado. Esto se utilizará más adelante para identificar las tecnologías o herramientas que podríamos utilizar y que resulten de utilidad en el estudio.

2.1. Análisis de sistemas de guiado/orientación

El guiado de personas con baja visión o ciegas tal y como se verá a continuación, ya ha sido tema de estudio con anterioridad. De hecho, son numerosas las soluciones que se ha intentado implementar o que se ha estudiado para ubicar al usuario y darle instrucciones.

Entre todas las soluciones que se plantean, habría que diferenciar, principalmente, entre las que se centran en la orientación en espacios cerrados y las que se aplican en el exterior.

Las primeras (ubicaciones cerradas) son, a priori, algo más abarcables, ya que los espacios interiores se suelen poder mapear con una mayor precisión y detalle. Además, existe la posibilidad de utilizar diversas técnicas o tecnologías para ubicar al usuario de una forma más o menos precisa.

Por otra parte, las ubicaciones exteriores suelen ser más complicadas de dominar; ya que no se tiene tanto control sobre las modificaciones que pueden aparecer en el entorno y, además, el despliegue de ciertas tecnologías puede alcanzar unos costes demasiado altos que hagan que no sea factible su implantación. Sin embargo, el uso de determinadas técnicas, o tecnologías como el GPS (ver sección 3.1.1), sí que son posibles en los entornos abiertos, aunque pueden presentar problemas en los interiores, debido a la naturaleza de las tecnologías utilizadas.

Dado el ámbito de estudio que se trata en esta tesis, los sistemas interiores quedarán excluidos de este análisis de sistemas ya existentes de tal forma que se mostrarán sistemas que únicamente sean de exterior o que sean híbridos.

2.1.1. Sistemas de exterior

Dentro de este grupo de sistemas, existen gran variedad de aproximaciones para intentar resolver el problema de estudio. A continuación, se puede encontrar algunos de estos sistemas.

En Otaegui et al. (2013) nos encontramos con un sistema de exterior que está basado en GPS. El usuario recibe señales acústicas en dos formatos: descripciones del entorno o de POIs (Puntos de interés) en los alrededores de la zona mediante voz (si bien no se especifica la forma exacta en la que se hace) y también puede recibir una señal binaural, que le indique la desviación con respecto a un camino. Una señal binaural, es una señal de audio estéreo que puede ir desde un simple sonido que se oye a distintos volúmenes en cada uno de los oídos del sujeto para indicarle la posición de un objeto o una dirección en la que debe moverse, hasta a una señal mucho más compleja que simule la ubicación real de una fuente de sonido haciendo un uso más intensivo de las propiedades físicas, tales como el efecto Doppler (la frecuencia de un sonido varía según nos acercamos o alejamos de él) o similares. Este sistema utiliza la posición GPS y la orientación de una brújula para guiar al usuario en un entorno abierto, a través de una serie de rutas ya establecidas. Es decir, previamente, se ha trazado una ruta y, en el momento en el que el usuario está navegando por el entorno, el sistema utiliza señales acústicas que le indican su grado de desviación con respecto a la ruta marcada. Si bien el sistema tiene cualidades interesantes, no parece que sea lo más adecuado para ser utilizado en entornos urbanos en los que no se tiene un movimiento tan libre como el que utilizan en sus experimentos, ya que los entornos urbanos pueden ser muy ruidosos y es posible que los sonidos no se puedan percibir con toda la claridad necesaria. No obstante, sí podría ser susceptible de ser utilizado en determinadas ocasiones, como por ejemplo, cuando se desea atravesar una plaza grande con espacios diáfanos o en el caso de un parque.

Otra de las técnicas para ayudar en el desplazamiento de las personas con baja visión se basa en la utilización de cámaras para captar más información.

Estas técnicas, más que ubicar al usuario, tratan de evitar que éste sufra percances en sus desplazamientos. Algunas técnicas se basan únicamente en el tratamiento de imágenes y el *feedback* mediante señales de audio. Por ejemplo: Meijer (1992) y Sainarayanan (2002) hacen análisis de imágenes proporcionadas por cámaras que lleva el peatón y, mediante el uso de la frecuencia y la amplitud de una señal de audio, ofrecen información acerca de los objetos que el usuario tiene delante (posición, proximidad, dirección, etc.).

Por otra parte, existen técnicas basadas en imágenes que utilizan visión en 3D para observar la distancia a la que se encuentran los objetos delante del usuario. Dichas técnicas pueden hacer uso de varias cámaras para calcular, por medio de la disparidad entre las imágenes, la distancia a los objetos y después, ofrecen al usuario una respuesta similar a las que se veían en el caso anterior, es decir, mediante el uso de señales de audio que describan la situación (Capp y Picton (2000); Kawai y Tomita (2002)). Sin embargo, la utilización de señales de audio a las que hay que prestar atención de una forma continua en el caso de personas ciegas que utilizan el sentido del oído para la detección de elementos en los desplazamientos no es lo más adecuado ya que podría producir que el usuario perdiese información importante que suela recoger por medio del oído. Por ello, otros trabajos, como el de Zelek et al. (2003), han recurrido a *feedbacks* hápticos (vibraciones) para indicar las situaciones por medio de dispositivos colocados en diferentes partes del cuerpo, y que producen vibraciones para indicar distintos tipos de eventos o situaciones.

En cuanto a la visión por computador, se ha usado otra técnica Zöllner et al. (2011) en la cual, para calcular posiciones 3D y elementos indicativos de la posición, se ha utilizado la cámara de Microsoft Kinect. Este sistema al igual que el anterior, utiliza unos dispositivos vibradores, distribuidos alrededor de la cintura, para que el usuario pueda saber a qué distancia y por dónde se encuentran los obstáculos que hay en su camino. Además, utiliza códigos QR que marcan posiciones en el lugar del estudio, para ubicar al sujeto y ofrecerle, mediante síntesis de voz, instrucciones para alcanzar su objetivo. Este método implica que es necesario marcar el lugar en el que se va a trabajar con señales visuales, que no sabemos si el usuario va a lograr enfocar correctamente. Además, se trata de un sistema muy aparatoso, lo cual, unido a la necesidad de marcar y mantener las marcas, no facilitan el que éste sea un sistema susceptible de ser utilizado en zonas amplias y mucho menos por todo el mundo.

2.1.2. Sistemas híbridos (Interior + Exterior)

En ámbitos mixtos (interior/exterior), también existen varios sistemas que se han estudiado. En el caso de Sharma et al. (2013), nos encontramos ante un sistema basado en sensores de proximidad (infrarrojos y de ultra-

sonidos) que detectan la proximidad o presencia de objetos en el camino (basándose en el tiempo de vuelo de la señal, cuanto más tarde en regresar la señal de ultrasonido o de infrarojo, más lejos están los objetos que se tienen delante) y, por medio de señales de audio, ofrecen al usuario una descripción de la presencia de objetos en diferentes posiciones (sistema binaural con diferentes tipos de sonidos). Este sistema, al igual que sucede con muchos de los que estamos viendo, tampoco ofrece una navegación, sino que, más bien, se trata de un sistema para evitar obstáculos.

Por su parte, Ran et al. (2004) es un sistema híbrido que, en exteriores, utiliza señales GPS y que se ha adaptado para su uso en interiores mediante el uso de localización por medio de ultrasonidos. En este sistema, se intenta hacer llegar al usuario a su destino siguiendo rutas óptimas (no se indica explícitamente que las rutas calculadas sean las más seguras sino que más bien parece que se calculan las más cortas), que pueden recalcularse según la situación del usuario. Sin embargo, parece que este sistema solo pretende dar instrucciones para que el usuario avance por el centro del camino en su trayecto, sin tener en cuenta lo que se pudiera encontrar o dónde se encuentra.

En Ceipidor et al. (2006) se puede encontrar otro sistema orientado tanto a interior como a exterior. El sistema aquí presentado se basa en una matriz de etiquetas RFID (Etiquetas de radio-frecuencia que pueden ser leídas por lectores específicos que trabajen con la misma tecnología de las etiquetas) distribuidas por el pavimento, que pueden ser identificadas por un lector de RFID situado en el bastón de la persona ciega. Este sistema ha mapeado en un servidor todas las etiquetas y es capaz de dar información tanto de ubicación como de orientación al usuario, además de ofrecer a éste información acerca de lo que le rodea (como por ejemplo, los comercios que hay alrededor). Al utilizarse una red de etiquetas distribuidas de una forma conocida, la precisión que se puede dar al usuario es muy buena y no se ve afectada por circunstancias como el estado del tiempo, pero sí que implica la instalación y mapeo de todas las etiquetas, al igual que su reposición si hay algún tipo de obra o similar o, simplemente, en el caso de que alguna etiqueta se deteriore o estropee (supuesto en el que habría que levantar el pavimento para reemplazarla). Si bien los autores defienden que no es un sistema muy costoso, esto podría llegar a ser cuestionable si se tiene en cuenta que, para poder implantarlo, habría que instalarlo en toda la ciudad y no solo en las vías destinadas a los peatones, sino que también en los cruces y demás elementos susceptibles de ser transitados por peatones. No obstante, su instalación en lugares cerrados, con el propósito de hacer guías de visitantes o similares, si que sería algo deseable, aunque, a lo mejor, habría que cambiar la ubicación del lector RFID para hacerlo un producto más generalista y, por tanto, más viable desde el punto de vista económico.

Otros trabajos, como Fernandes et al. (2010) intentan combinar varias técnicas en diferentes ámbitos. Concretamente, en dicho estudio se utiliza

un sistema basado en GPS para exteriores y en señales wi-fi para interiores. Se apoya sobre un sistema de visión artificial para la localización de POIs o para indicar al usuario si se está moviendo por un camino que se ha trazado artificialmente en el suelo mediante marcas. Este sistema, a priori, da la posibilidad de moverse tanto por interiores como por exteriores, sin embargo, no parece que sea el más adecuado, ya que requiere en todos los casos que se haya adaptado el área para poder aprovechar sus características: por una parte, para la localización en interiores, las redes wi-fi precisan una calibración, que podría ser necesario volver a hacer si se modificase algún elemento en la infraestructura de los puntos de acceso que la componen. Por otra parte, el caso de los caminos, tanto para interiores como para exteriores, requiere un despliegue y mantenimiento que no parece que sea demasiado escalable como para poder tener marcadas grandes zonas y garantizar que el estado de las marcas sea el óptimo.

2.1.3. Sistemas orientados a problemas concretos

En ocasiones, también se han realizado estudios sobre problemas concretos, como en el caso de Ross y Blasch (2000), en el que se intenta orientar a los usuarios a la hora de cruzar un paso de peatones, aunque esto se puede extender a otros ámbitos. Este estudio se centra principalmente en la forma de dar el *feedback* de orientación al usuario y lo hace mediante sonidos estéreo (para indicar hacia dónde moverse) o por medio de un *feedback* hablado o a través de un *feedback* háptico, utilizando una serie de altavoces de contacto, posicionados en la espalda del usuario. Si bien el sistema no sirve para dar instrucciones reales de navegación, sí abre las posibilidades en cuanto a las formas en las que ofrecer la información a los usuarios en algunas circunstancias o ante determinadas características del usuario, además de mostrarnos que hay ciertas circunstancias que requieren un estudio específico, más allá de una visión general del problema.

2.1.4. Otros sistemas

Además de los anteriores, existen numerosos sistemas para el guiado de personas o, al menos, para mejorar la movilidad de las mismas (Moulton et al. (2009), Tormes de la ESA 2004, Gomez (2006), BrailleNote GPS de Sendero Group Inc, Loadstone GPS...). Sin embargo, prácticamente ninguno utiliza información relevante acerca de las aceras, de forma que pueda ser útil para las personas ciegas o con baja visión. De hecho, muchos de los sistemas se limitan simplemente a que los usuarios logren evitar obstáculos o a que vayan exactamente por una línea preestablecida, sin salirse de los límites marcados; lo cual, en un entorno nuevo, en el que una persona desea moverse de un sitio a otro, no resulta demasiado útil para averiguar lo que realmente le interesa (que es la ruta, propiamente dicha, hacia su destino).

2.2. Discusión

Como se ha podido apreciar en la sección anterior, existe una gran cantidad de métodos y estudios orientados a intentar resolver la situación que nos ha llevado a escribir esta tesis y, como se ha podido comprobar, son muy heterogéneos.

En los siguientes apartados, se hará una recapitulación de la tendencia que tienen los sistemas comentados anteriormente a la hora de afrontar ciertos problemas. Asimismo, se comentará nuestra opinión sobre dichas tendencias y se planteará la forma en la que se van a tratar los problemas en cuestión.

2.2.1. Métodos de ubicación del usuario

En primer lugar, hemos observado que existen diferentes métodos para la ubicación del usuario, desde métodos basados en sistemas satelitales, como se pudo ver en algunos estudios como Otaegui et al. (2013), Ran et al. (2004) o Fernandes et al. (2010), hasta sistemas que implican la colocación de balizas o marcas en las aceras, como en el caso de Ceipidor et al. (2006) o Fernandes et al. (2010), de forma que éstas sean leídas a la hora de transitar por dichas zonas. En principio, la tendencia debería ser hacia el uso de tecnologías estandarizadas y ampliamente extendidas, con el fin de poder llegar a todo el mundo y para que sea más sencillo trabajar con ellas en mejoras futuras.

En este trabajo, como se mostrará más adelante, (ver sección 3.1.1) plantearemos la utilización de sistemas basados en redes de satélites, ya que, a día de hoy, los sistemas de navegación satélite están integrados en la mayoría de los dispositivos móviles y porque, al contrario de lo que supone instalar complejas redes de balizas, éstos no necesitan un mantenimiento más allá del ordinario ni un desembolso adicional y específico para esta aplicación. No obstante, más adelante, se hará un estudio de los sistemas que ofrecen en la actualidad los dispositivos móviles para la localización del individuo.

2.2.2. Métodos de planificación de rutas

Por otra parte, en los sistemas estudiados, se ha podido observar que, en varios casos, se planifica rutas de la misma forma en la que lo hacen los sistemas de GPS tradicionales y de uso general, como en el caso de la mayoría de los sistemas estudiados. Sin embargo, en ningún caso se especifica que estas rutas calculadas hayan sido diseñadas específicamente para el uso de los sujetos a los que va dirigido este estudio o que se haya tenido en cuenta las características de las vías para crearlas de una forma adecuada. De hecho, gran parte del estudio que se realizará en las próximas secciones irá en esta dirección, con el fin de ofrecer las rutas más apropiadas para los peatones que vayan a utilizarlas.

Por todo lo anterior, en las siguientes secciones, nos veremos obligados a realizar estudios sobre sistemas de almacenamiento de información topológica y geográfica, que sean capaces de almacenar el tipo de información que se requiere y que, si fuese necesario, fuesen tanto escalables como extensibles, con el fin de ofrecer una forma sencilla de mapear nuevas zonas y que esto no afecte al sistema (ver sección 3.2).

2.2.3. Tipo de información que facilitar al usuario y medios y forma en que hacerlo

Otros temas que tampoco parece que queden del todo resueltos son: el medio por el que ofrecer la información y la forma de darla. Por una parte, nos encontramos con un elevado número de sistemas que utilizan una gran cantidad de *hardware* adicional para ofrecer *feedbacks* hápticos como es el caso de Zelek et al. (2003), Zöllner et al. (2011) o Sharma et al. (2013) y, por otra parte, existen sistemas que hacen uso de auriculares que, en algunas ocasiones, pretenden interactuar de una forma continua en el tiempo con el usuario como en Otaegui et al. (2013), Meijer (1992), Sainarayanan (2002), Capp y Picton (2000) Kawai y Tomita (2002) o Sharma et al. (2013), mientras éste está realizando su traslado, lo cual podría llegar a ser perjudicial.

Al haber decidido que, en principio, es mejor recurrir a dispositivos de uso generalista, se descartará el uso de dispositivos capaces de ofrecer un *feedback* háptico y nos centraremos más en el uso de auriculares. No obstante, se hará un pequeño estudio sobre las mejores opciones para utilizar este tipo de *hardware* (ver secciones 3.3.3 y 4.4.1), ya que, en la actualidad, existe un amplio abanico de posibilidades y tecnologías de auriculares.

2.2.4. Anuncio de obstáculos en las rutas

Otro aspecto que se puede observar en los trabajos anteriormente citados es que varios se centran en la necesidad de orientar al individuo para llevarle por el centro de la vía, como es el caso de Meijer (1992), Sainarayanan (2002), Capp y Picton (2000) Kawai y Tomita (2002) o Zöllner et al. (2011), que se basan en imágenes, Sharma et al. (2013), Ran et al. (2004), que hacen uso de distintos tipos de sensores o Fernandes et al. (2010), que utiliza marcas en los recorridos, en lugar de dejarle navegar a su antojo, indicando “simplemente” la ubicación de obstáculos, ya que éstos constituyen el verdadero problema para los transeúntes invidentes (sobre todo, en el caso de obstáculos de carácter temporal).

Como se podrá apreciar más adelante, la presencia de obstáculos es algo que se tendrá en cuenta en este trabajo. Por otra parte, también se planteará una posible solución para tratar con obstáculos de carácter temporal sobre cuya presencia sea necesario advertir al peatón ciego o con baja visión (ver sección 4.4.2.1). Con respecto a este último punto, se hará una exposición

en el siguiente capítulo sobre el funcionamiento de las tecnologías basadas en tecnología *bluetooth* (ver sección 3.1.2) y, posteriormente, se expondrá un experimento que se realizó con esta tecnología para intentar ofrecer una solución a estos problemas.

Capítulo 3

Análisis de las tecnologías

RESUMEN: Con el fin de ver sobre qué nos podemos apoyar para intentar que nuestro estudio tenga éxito, en este capítulo, se va a analizar diferentes tipos de tecnologías sobre las que nos podríamos apoyar en nuestro estudio para ver cuáles son las opciones más adecuadas y cuáles se debería obviar. Asimismo, se introducirán tecnologías como las balizas *bluetooth*, que serán de interés en algún punto en particular de nuestro estudio, al igual que otras como la transmisión ósea de los sonidos y las diferentes tecnologías de accesibilidad que hay en los distintos Sistemas Operativos para teléfonos inteligentes.

3.1. Sistema de localización de personas y lugares

En una aplicación con las características que debería poseer la que es objetivo de esta tesis, es importante poder tener ubicado al usuario. En sistemas similares o con propósito parecido al nuestro, encontramos múltiples opciones.

Por una parte, existen sistemas que han sido diseñados para entornos de interior. Para dichos sistemas, podemos encontrar métodos de balizado que hagan uso de diversas tecnologías inalámbricas, como RFID, el uso de redes wi-fi, las tecnologías *BlueTooth* de los *iBeacons*, etc., con las que triangular la posición.

Algunas de estas tecnologías se han utilizado también en aplicaciones de exterior. Sin embargo, el coste de su despliegue y mantenimiento puede ser muy elevado; por ejemplo, si se desease usar balizas RFID para localizar con mayor o menor precisión al usuario, se requeriría que hubiese balizas cada pocos metros, ya que las balizas marcan una posición exacta y no triangulan una posición y además su alcance es muy reducido, con lo que el número de balizas necesarias para marcar una zona (incluso de dimensiones restringidas) podría ser muy elevado.

Por tanto, en sistemas de exterior, se suele recurrir a otros sistemas, diferentes a los basados en balizas. El sistema más extendido es el GPS, que, a día de hoy y cada vez más, está muy extendido, además, el precio de los receptores ha disminuido radicalmente en los últimos años, con la proliferación de terminales móviles que incorporan esta tecnología.

3.1.1. Sistemas de satélites

El GPS o Global Positioning System (U.S. Government, ESA (b)) es un sistema de geolocalización que aparece a partir de los años 70. Se basa en sistemas anteriores y estudios de los años 60. Básicamente, este sistema utiliza una serie de satélites artificiales con relojes atómicos que ofrecen cierta información a los receptores, para que éstos puedan calcular su posición en la superficie de la Tierra o en su proximidad.

El sistema de GPS no consiguió una cobertura global de la superficie terrestre hasta 1995 y, actualmente, continúa su desarrollo por medio del GPS III, que se ideó para cubrir las necesidades que se producirán en los próximos años con la creciente implantación de estos sistemas entre la población civil. El sistema GPS, inicialmente, ofrecía la información necesaria para el cálculo de la posición de una forma diferente para la población civil y para fines militares: mientras que para los segundos, el sistema ofrecía la información con toda la precisión disponible, para la población civil, se introducía de manera artificial cierto error aleatorio. Este sistema por el cual, se diferenciaba la precisión de ambos ámbitos, se denominó *“Selective Availability”* o disponibilidad selectiva y fue eliminado en el año 2000.

Si bien GPS es el sistema más conocido, no es el único que existe, ya que, por ejemplo, Rusia ha desarrollado su propio sistema GLONASS (Federal Space Agency, ESA (a)), que no consiguió cobertura global hasta la mitad de la década de los 2000. Europa (con Galileo) y otros países (como India o China) también están desarrollando sus sistemas de geolocalización.

En la actualidad, los fabricantes de chips de geolocalización que se montan en los receptores de GPS suelen hacer uso de varios sistemas de geolocalización (GPS y GLONASS, que son los que tienen cobertura global) y ofrecen al usuario la información de posición de forma transparente, sin que éste se tenga que preocupar sobre el sistema que se ha utilizado para calcular dicha posición.

El funcionamiento del GPS está basado en un principio muy simple: la velocidad de transmisión de señales. Los satélites que forman la constelación del GPS envían periódicamente información acerca de su posición y la del resto de satélites por medio de mensajes marcados con la hora en la que éstos han sido enviados. Los receptores reciben estas señales y, sabiendo la posición que ocupan los satélites en el espacio y el tiempo que transcurre entre la recepción de los mensajes de los diferentes satélites, se puede saber

la distancia a la que se está de cada uno de éstos y, con ello, la posición en la que nos encontramos con respecto a dichos satélites.

Una forma más sencilla de comprender el modo en que funciona lo que se ha explicado anteriormente consiste en dibujar una esfera centrada en cada uno de los satélites, cuyo radio sea la distancia a la que nos encontramos de cada uno de ellos, de forma que el punto de intersección entre todas las esferas será la posición en la que nos encontramos. Si queremos localizar una posición más o menos precisa, tendremos que contar con la señal de, al menos, 4 satélites. Sin embargo, en ocasiones, podemos establecer ciertas suposiciones o extraer información de otros dispositivos (por ejemplo: altímetros), de modo que se infiere nuestra posición por medio de un número inferior de satélites.

Para gozar de una buena señal de uno de estos satélites, necesitamos que haya un contacto en línea recta con el satélite, sin ninguna obstrucción. Si no existe esta vista en línea recta, se podrían ver afectadas por el entorno las mediciones de la señal del satélite.

A lo largo de los años, la precisión de las señales de GPS ha ido aumentando, sobre todo, en el ámbito civil. Durante el período en el que estuvo activa la disponibilidad selectiva, se instauraron sistemas que eran capaces de hacer que la precisión fuese mayor, apoyándose en estaciones en tierra que, al conocer su posición exacta, pudieran dar una corrección a los receptores de GPS que estuviesen próximos, ya que el error afecta de una forma más o menos uniforme a los dispositivos que se encuentran en un área próxima. Un ejemplo de sistemas de este tipo son las estaciones DGPS o GPS Diferencial, que, en sus mejores implementaciones, alcanzan precisiones de hasta 10 cm.

Otra mejora que cabe destacar en cuanto a los sistemas de GPS actuales es el AGPS o GPS Asistido. Dicho sistema surge con el fin de combatir la lacra de tiempo que supone el bajo *bitrate* que posee el sistema GPS suministrado por la red de satélites. Los mensajes de los satélites forman una trama total de 1500 bits y la velocidad de transferencia del protocolo de GPS tan solo es de 50b/s; lo cual hace que se tarde alrededor de 12 minutos en recibir el mensaje completo. Si se desea conseguir una buena ubicación, es preciso recibir el mensaje completo, ya que en él se almacena la información del momento en el que se envía cada fragmento y, entre otros datos, un almanaque que almacena las órbitas que seguirán todos los satélites del sistema (con el cual, se harán los cálculos para obtener nuestra posición). Esto quiere decir que antes de poder ubicarnos con precisión, debemos esperar esos 12 minutos en el arranque del GPS o en cada ocasión que el almanaque haya caducado. El AGPS utiliza las comunicaciones de telefonía móvil para transmitir el almanaque a través de ésta en un tiempo mucho menor, de modo que se dispone de esta información prácticamente desde el momento en el que se enciende el GPS.

El sistema ha experimentado multitud de mejoras y se ha tenido que

enfrentar a diferentes problemas a lo largo de su vida, como, por ejemplo, algún percance referente a la ley de la relatividad general de Einstein, que afectaba a la medición del tiempo en los relojes atómicos montados a bordo de los satélites. Pero este asunto ya no es tan relevante en este trabajo. Por lo que se ha podido observar, los sistemas de GPS, ya sea el propio GPS u otras alternativas como el GLONASS, son unos sistemas suficientemente extendidos, baratos y funcionales como para que puedan ser la mejor opción de geolocalización que utilizar en este trabajo. Además, prácticamente todos los dispositivos móviles integran receptores de este tipo, lo cual reafirma nuestra elección de estas tecnologías.

3.1.2. Balizas *Bluetooth* (*iBeacons*)

Si bien los sistemas satelitales son en la actualidad los más globales y los que se debería utilizar para ubicar con precisión al sujeto dentro del área en la que se desea trabajar, cabe destacar que hay otros sistemas que pueden ser utilizados a modo de *triggers* cuando un usuario se acerca a una zona determinada; de forma que, con ello, se pudiera avisar al usuario de cierto evento.

En nuestro caso de estudio, se va a utilizar la tecnología *iBeacon* para afrontar el problema de la aparición de eventos puntuales, que, como se ha podido apreciar a lo largo de los capítulos anteriores, surge en varias ocasiones.

La tecnología *iBeacon* es relativamente barata y hace uso de los dispositivos *Bluetooth* de bajo consumo; sin embargo, no está demasiado extendida a fecha de hoy. Inicialmente, fue creada por la compañía estadounidense Apple (Apple (c)) con el propósito de ser utilizada con fines publicitarios en sus comercios; pero, poco a poco, se ha ido extendiendo y ya es compatible con otros dispositivos que integran BTLE (como dispositivos Android, que ya disponen de SDKs específicos para poder trabajar con ellos).

Los *iBeacons* son, básicamente, dispositivos de tamaño muy reducido y consumo igualmente muy bajo, que transmiten continuamente una señal *bluetooth* que contiene información que identifica al dispositivo, además de unos pocos bytes de información que pueden ser utilizados por el receptor para generar la información necesaria en sus aplicaciones.

La frecuencia de transmisión de la información es configurable, de forma que puede transmitirse cada pocos segundos o hasta cada varias horas; con lo cual, haría que la duración de la batería se extendiese aún más. Sin embargo, limitaría la recepción de la información, ya que es necesario que el receptor se encuentre dentro del rango de acción durante el momento en el que se transmite el mensaje.

La potencia con la que se recibe la señal de estos pequeños dispositivos es utilizada en no pocas ocasiones para calcular la distancia a la que nos

encontramos del mismo y, en casos como el que nos ocupa, puede ser de utilidad saber a qué distancia estamos y si nos estamos acercando o alejando.

Como ya se ha señalado, estos dispositivos son muy pequeños; con lo cual, son fácilmente transportables. Además, su precio no es elevado, con lo que su uso podría extenderse con facilidad. Por tanto, como se observará más adelante, estos dispositivos serán de gran utilidad a la hora de solucionar el problema de los obstáculos puntuales que ya se ha comentado.

3.2. Sistemas para generar y almacenar información de las redes urbanas

Naturalmente, uno de los aspectos que se debe estudiar en el presente trabajo es el modo de almacenar la información relativa a las redes de comunicación urbanas; ya que son las vías por las que nos vamos a tener que mover y las que tendremos que marcar con la información necesaria para el usuario. Por tanto, en esta subsección, se analizarán una serie de potenciales sistemas que podrían cumplir (o no) los requisitos buscados.

3.2.1. Google Maps

El primer sistema que se va a analizar es Google Maps (Google inc. (b) Svennerberg (2010)). Se trata de un servicio online, desarrollado por Google, que vio la luz a principios del año 2005. Este servicio nos ofrece una gran cantidad de información acerca de mapas, al tiempo que ofrece datos sobre rutas, marcadores, imágenes, etc. Los mapas que ofrece Google van desde planos 2D (con la distribución de las calles) hasta representaciones 3D (con imágenes satelitales/aéreas que, periódicamente, se van actualizando). Los servicios que ofrece Google Maps a los usuarios son aplicaciones web a las que se puede acceder desde nuestros navegadores o incluso aplicaciones autónomas dedicadas únicamente a ofrecer este servicio de mapas (tanto para equipos de escritorio como para terminales móviles).

Desde mediados de 2005, Google, al ver que se estaba creando servicios por medio de ingeniería inversa para trabajar con los mapas y modificar la información que éstos ofrecían, comenzó a ofrecer un API que ha ido evolucionando hasta la colección de APIs de la que disponemos en la actualidad. Estas APIs ofrecen la posibilidad a los usuarios de insertar mapas en sus páginas web y pintar formas y marcadores sobre estos mapas. Asimismo, existen APIs dedicadas a servicios. Dichas APIs, además, ofrecen la posibilidad de calcular rutas (como se observará más adelante).

En concreto, el número de APIs que ofrece Google Maps en la actualidad asciende a 6 (Google inc. (a)) y éstas tienen las siguientes funcionalidades:

- Api 3 de Javascript: API de Javascript que, principalmente, permite al

usuario insertar en sus páginas web mapas de Google Maps; no obstante, también ofrece otras posibilidades, como dibujar rutas, insertar marcadores, personalizar el aspecto de los mapas, etc. Sin embargo, la comunicación se produce solo en un sentido; es decir: tan solo permite consultar información de los servidores o, como mucho, insertar puntualmente cosas en el mapa que estamos viendo, sin hacer estos cambios persistentes en ningún lugar en los servidores de Google Maps.

- API de Google Maps for Bussines: se trata de una extensión de la anterior, dirigida principalmente a la empresa, en la que se ofrece adicionalmente un mayor número de consultas (en comparación con las que se puede utilizar en el API normal), interacción con servicios de intranets, etc. Sin embargo, ninguno de los servicios resulta interesante para el presente trabajo.
- API de Imágenes de Google Maps: esta API simplemente ofrece a los usuarios la posibilidad de obtener imágenes/panorámicas para las páginas web, sin la necesidad de utilizar Javascript; tan solo es necesario usar la etiqueta image de HTML. No obstante, es bastante potente, ya que permite un cierto nivel de personalización en la visualización, así como el dibujado de formas sobre estas imágenes.
- API de Google Places: API que permite obtener información sobre lugares como comercios, ubicaciones o similares.
- Servicios web de Google Maps: se trata de servicios que permiten el acceso a la información de las bases de datos de Google mediante direcciones web que pueden ser consumidas por cualquier lenguaje de programación, sin la necesidad de utilizar Javascript. Con esta API, se puede acceder a datos sobre lugares, rutas, matrices de distancias, matrices de altitudes, etc. Sin embargo, todo ello es factible tan solo en el sentido de consulta, con lo cual, no se puede acceder a más información que a la que Google vaya introduciendo.
- API de google Earth: otra extensión de la API 3 de GoogleMaps para javascript, en la que se habilita la posibilidad de ver mapas en 3D.

Además de estas APIs, Google ha creado una iniciativa llamada Maps-Maker. Mediante dicho programa, se facilita una serie de herramientas que ofrecen la posibilidad de introducir información adicional a los servidores de Google Maps y Google Earth. Sin embargo, antes de estar disponible, dicha información debe ser revisada por los trabajadores de Google. Además, no ofrece la versatilidad total que supone poder agregar la información que nosotros podamos requerir. Por otra parte, si bien la iniciativa de MapsMaker está disponible en más de 200 países, España no se encuentra dentro de dicho

listado. Aparte de no estar disponible en España, este servicio está temporalmente cerrado y se está abriendo poco a poco por fases debido a ciertos problemas que tuvo en el pasado con acciones que hicieron algunos usuarios.

Teniendo en cuenta que estas APIs y la iniciativa de MapsMaker son la única forma que tenemos de interactuar con Google Maps, cabe observar que la interacción desde el usuario hacia los servidores es muy limitada. Tan solo es posible obtener información de los servidores y, en ningún caso, se puede completar la información que Google posee o, al menos, no de una forma sencilla y, si MapsMaker fuera accesible desde España, existiría una serie de limitaciones que no lo harían viable para nuestros objetivos. Por tanto, para el fin del estudio, la API de Google Maps tendrá que ser descartada, al menos a la hora de generar o almacenar contenido útil.

3.2.2. Bing Maps

Por su parte, Microsoft lanzó en 2005 su versión de mapas (Microsoft Corporation (a)). Ésta ha ido evolucionando a lo largo de los años hasta llegar a lo que es hoy. La plataforma de Microsoft ofrece contenido acerca de vías de comunicaciones, POIs, mapas aéreos, vistas 3D, etc. Aunque en muchos lugares, estos contenidos no están demasiado extendidos.

Por otra parte, Microsoft ha dotado a su plataforma de varias APIs (Microsoft Corporation (b)) para diferentes tipos de dispositivos. Por ejemplo: una API REST, con la que poder ofrecer la información de sus servidores a los usuarios. Esta API REST le da una gran versatilidad, ya que es accesible desde cualquier lenguaje de programación capaz de hacer *HTTP Requests*.

Sin embargo, esta plataforma tampoco está demasiado extendida y no parece que sea muy sencillo ampliarla con nueva información acerca de vías de comunicaciones. Por otra parte, parece que el cálculo de rutas solo se puede hacer sobre vías principales. Por todo lo anterior, no parece que esta plataforma vaya a ser de gran utilidad para los propósitos que nos hemos planteado. Por tanto, nos veremos obligados a descartarla.

3.2.3. Apple Maps

Al igual que hiciera Microsoft, Apple también decidió desarrollar su propio sistema de mapas (Apple (b)) y lo lanzó en 2012, con el fin de no depender de los mapas de Google en las aplicaciones de sus dispositivos iOS.

Las características de este sistema son parecidas a las que se han observado en cualquiera de los dos sistemas anteriores. No obstante, carece de varias de ellas. Por ejemplo: no dispone de una API pública con la que acceder a los datos que tienen almacenados; en consecuencia, por razones obvias, este sistema de mapas no tiene ningún sentido en absoluto para el trabajo.

3.2.4. Nokia HERE

Si bien no ha tenido una gran repercusión hasta hace bien poco, Nokia también tiene su plataforma de mapas, que se denomina HERE (Nokia (a)). De hecho, es la más longeva de las que se han analizado, ya que sus orígenes se remontan al año 2001 y ha llegado hasta nuestros días con diferentes nombres a lo largo de los años. Esta plataforma sí que ha sido de gran importancia para ciertas empresas desde sus orígenes (es proveedor de mapas para yahoo, entre otros).

En la actualidad, la plataforma de Nokia es muy potente y tiene una gran cantidad de APIs para los desarrolladores (Nokia (b)), con las que interactuar: desde APIs específicas para plataformas móviles, hasta otras más generales (como las que hacen uso de tecnología Javascript para el desarrollo en web, o las que utilizan tecnología REST que facilita el trabajo con esta plataforma desde cualquier entorno que pueda hacer consultas HTTP Request).

La plataforma HERE permite hacer muchas cosas que ya se han observado en otras plataformas previamente expuestas, como la de Google. Permite, por ejemplo, crear POIs o hacer consultas de éstos, solicitar rutas e incluso llega a tener información acerca de ubicaciones que no se encuentran al aire libre.

A la hora de adquirir la información para mapear carreteras, Nokia dispone de una flota de vehículos que, por medio de cámaras y sensores de diferentes tipos (como por ejemplo: LIDAR -Radar Laser-), son capaces de hacer mapas 3D de las vías; lo cual podría aportar una gran cantidad de información, ya que se podría acceder, por ejemplo, a datos sobre las vías, como la existencia o no de vados, escalones o incluso la inclinación de las calles. Sin embargo, esta información solo se utiliza para la circulación de vehículos, lo cual, si bien es muy interesante, a nosotros no nos resulta de gran ayuda, ya que no hace referencia a las vías peatonales (que son las vías principales en este estudio).

Como se puede apreciar, el sistema de Nokia es mejor de lo que a priori cabría esperar, debido a la poca repercusión mediática que había tenido hasta hace bien poco. Además, aporta información muy interesante, ya que hace uso de las cámaras láser. Sin embargo, es una pena que esta información se pierda al tratar con las vías peatonales. Además, al parecer, presenta exactamente los mismos problemas que tenían las tecnologías anteriormente descritas para adquirir información nueva y además parece que no hay forma de crear un contenido propio que se almacene en los servidores de Nokia, lo que hace que este sistema tampoco se ajuste al objetivo del trabajo.

3.2.5. OpenStreetMaps (OSM)

OpenStreetMaps (OpenStreetMap (a)) es, básicamente, un repositorio de información geográfica, cuya finalidad es hacer llegar toda esta información de forma abierta a todo aquel que la necesite. El proyecto nació en el año 2004, motivado por el hecho de que la información geográfica que generan los gobiernos no es de dominio público, a pesar de que ya se está pagando su creación mediante los impuestos (es necesario volver a pagar para poder adquirir dicha información). En este contexto, aparece OSM para que la comunidad de usuarios genere el contenido que sea útil para todos, de modo que ésta pueda ser accesible para cualquiera, sin tener que realizar ningún tipo de pago.

El contenido de OSM busca un acceso 100 % libre para los usuarios; por tanto, presenta una serie de restricciones para adquirir la información, ya que no se puede basar en documentos ni en datos que posean algún tipo de *copyright*. En consecuencia, los propios usuarios deben capturar la información que se desea mapear, por sus propios medios o mediante el uso de cartografías, fotografías o cualquier otro medio que no tenga este tipo de derechos.

Al tratarse de algo basado totalmente en el trabajo de la comunidad, ésta se ha visto obligada a generar *software* y herramientas, capaces de gestionar la información que se desea adquirir, así como herramientas que faciliten a todo tipo de usuarios la posibilidad de aportar información nueva. Para este trabajo, esto es de suma importancia, ya que nos facilita una herramienta con la que agregar a la base de datos nuestra propia información.

La información que se almacena en los servidores de OSM (OpenStreetMap (b)) se centra fundamentalmente en el uso de tres tipos básicos de elementos: nodos (que son ubicaciones en el mapa), vías (que están formadas por nodos unidos, que pueden estar cerradas o no) y relaciones (para los casos en los que dos vías están enlazadas, pero no representan lo mismo).

Los nodos pueden servir para ubicar situaciones en el mapa, tales como: áreas de servicio, museos, fuentes o cualquier otro elemento que se desee localizar. Por otra parte, sirven para definir las vías y las vías cerradas, con lo cual, habrá que crear los nodos que sean necesarios para poder crear la geometría necesaria, que sea capaz de definir una vía o una vía cerrada.

Las vías son una sucesión de nodos que sirven para designar caminos, carreteras o cualquier otra vía artificial que sea susceptible de seguir una ruta. Sin embargo, estas vías no se limitan a vías artificiales. Las vías naturales también pueden ser susceptibles de ser mapeadas. Un ejemplo de una vía natural pueden ser los ríos, los arroyos o cualquier otro elemento similar.

Las vías cerradas también se pueden utilizar para designar diversos elementos sobre un mapa. Pueden ser simplemente vías del tipo de las anteriores, que solo hacen un ciclo y comienzan y finalizan en el mismo punto.

Pueden servir para designar muchas otras cosas, por ejemplo: designar zonas tales como un barrio o una ciudad o incluso un parque natural. Adicionalmente a este tipo de regiones descritas artificialmente, también pueden servir para designar, por ejemplo, lagos (marcando el perímetro que lo define).

Las relaciones pueden servir para marcar características sobre el mapa; por ejemplo: se puede determinar una ruta ciclista marcando ciertos segmentos de una o varias vías. Otro uso muy recurrente consiste en agrupar áreas que no están comunicadas, por ejemplo: un parque nacional con varias ubicaciones (por una parte, se delimita todas las ubicaciones con vías cerradas y, por otra, se enlaza dichas ubicaciones mediante relaciones para formar el área total del parque).

Los nodos, las vías y las vías cerradas ofrecen información que, básicamente, hace referencia a la geometría del mapa. Sin embargo, el sistema de OSM no se queda ahí, sino que, además, todas estas estructuras pueden almacenar información adicional por medio del marcado de los nodos o las vías mediante etiquetas y valores.

En el sistema, ya existe de antemano una gran cantidad de etiquetas con una serie de valores posibles, ya predefinidos; pero no hay nada que impida al usuario crear sus propias etiquetas con los valores que desee; lo cual hace de OSM un sistema extensible con información adicional, que puede llegar a ser muy descriptivo. Las etiquetas que ya existen pueden estar orientadas a alguno de los tipos de estructuras (nodos, vías o vías cerradas) en concreto; aunque también hay etiquetas que se pueden utilizar en cualquiera de los tres tipos.

Para que un usuario se convierta en editor, tan solo es necesario que se registre de forma gratuita en su sitio web. Con eso, ya tendrá la posibilidad de subir nuevo contenido o modificar el existente. Para la creación y la edición de contenido en la plataforma, la comunidad ha creado herramientas que facilitan el trabajo de edición. La herramienta considerada como la más completa según la comunidad es JOSM.

JOSM es un editor offline para OSM, en el que se ofrece las herramientas necesarias para generar las estructuras básicas que se utilizan en OSM. Asimismo, se puede marcar estos elementos, de forma que posean información semántica adicional.

Como ya se ha señalado anteriormente, los editores se basan en información que puede ser extraída de diversas fuentes; tales como: GPSs, mapas, fotografías satelitales, etc. No obstante, siempre se tiene en cuenta que las fuentes que se utilice no tengan copyright. La fuente a la que más se recurre es el uso de GPS, ya sea por medio de GPSs propiamente dichos o mediante el uso de terminales móviles (como teléfonos) que posean estas características.

La información de los GPSs se sube a los servidores de OSM en forma de archivos GPX (*GPS eXchange Format*), que es un formato estandarizado para el intercambio de información GPS entre aplicaciones. Dicho formato

3.2. Sistemas para generar y almacenar información de las redes urbanas 27

es capaz de almacenar información, como waypoints o rutas. En cuanto a la información almacenada en estos archivos GPX, los editores pueden alterarla para generar nodos válidos y significativos, de modo que no se almacene información que no tenga utilidad alguna.

Por otra parte, el contenido de las bases de datos de OSM se publica periódicamente en forma de archivos (Planet.osm). Dichos archivos suelen tener un peso que puede alcanzar varios cientos de Gigabytes en formato xml sin comprimir, aunque hay versiones comprimidas o en formato binario que compactan el tamaño a algunas decenas de Gigabytes. Se dispone de la posibilidad de tener el archivo global de todo el mundo, de los continentes por separado o incluso de áreas más restringidas. Por medio de estos archivos, nosotros mismos podríamos montar estas bases de datos en servidores propios y acceder a la información mediante *queries*.

Sin embargo, si se pretende acceder a la información actualizada, OSM ofrece una API con la que poder realizar consultas acerca del contenido de las bases de datos en tiempo real.

Pese a todas las facilidades que OSM ofrece, éste carece de un sistema integrado para la búsqueda de rutas utilizando sus datos. No obstante, la comunidad sí que ha desarrollado multitud de sistemas y librerías que lo pueden hacer, tanto utilizando las APIs de OSM, como usando el contenido descargado en local desde los servidores de OSM.

Las librerías que se utilizan para realizar las búsquedas de rutas sobre los contenidos de OSM suelen usar algoritmos como A* o Djistra. Además, suelen permitir al usuario elegir el tipo de ruta que desea calcular (rutas para automóviles, para bicicletas o para peatones). La mayoría de estas librerías es de código abierto, lo cual permite realizar modificaciones sobre estas mismas librerías o crear librerías propias utilizando las ideas que sugieran las ya existentes.

Con todo lo expuesto, se puede apreciar que el uso de OSM como repositorio de información geográfica puede ser de gran utilidad en el proyecto, ya que facilita las herramientas para que los usuarios puedan aportar su contenido de forma más o menos sencilla, al tiempo que marca unas bases con las etiquetas ya definidas que, sin embargo, no limitan la posibilidad de aportar información adicional, puesto que se trata de un sistema que se puede extender mediante nuestras propias etiquetas (que permiten ofrecer la información que resulta útil para el fin buscado). Sin embargo, el sistema de OSM tan solo ofrece la posibilidad de almacenar información y, en ningún caso, permite calcular rutas (y mucho menos, rutas que estén adaptadas a unas necesidades concretas) con sus servicios, al menos, no de forma directa. Por tanto, este tema será algo que se tendría que desarrollar específicamente desde cero o haciendo uso de las librerías de terceros ya existentes.

3.3. Interacción con el usuario

Como ya se ha comentado, esta tesis gira alrededor de un problema, centrado en el usuario. Como cabe esperar, el usuario tendrá que interactuar con algún tipo de aplicación para enviar órdenes y recibir instrucciones. Dicha interacción debe poder llevarse a cabo de una forma que puedan comprender tanto el usuario como el dispositivo y que les facilite a ambos toda la información que necesiten.

3.3.1. Capa de accesibilidad en teléfonos inteligentes

Hoy en día, afortunadamente, los teléfonos inteligentes que podemos encontrar en el mercado han avanzado de tal forma, que incorporan en su sistema operativo una capa de accesibilidad que garantiza que los usuarios puedan interactuar con dichos teléfonos sin ningún problema.

Los principales sistemas operativos que nos podemos encontrar en la actualidad para este tipo de terminales son: el Sistema Operativo de Google “Android” y el Sistema Operativo de Apple “iOS”. En ambos casos, como se ha comentado con anterioridad, hay una capa de accesibilidad que garantiza que los usuarios puedan utilizar el teléfono de una forma más o menos correcta.

En el caso de Apple (a), el sistema que integra para controlar todos los temas relacionados con la accesibilidad se llama *Voice Over* (Apple (d)) y controla tanto la síntesis de voz como la gestión de gestos, las características de *zoom* o contraste entre muchas otras capacidades. En este caso, la capa de accesibilidad se encuentra altamente integrada en el sistema, lo cual permite que la respuesta de cualquier evento o de cualquier acción que requiera un *feedback* por medio de esta capa sea muy rápida y estable. Además, en el caso de Apple, esta tecnología se lleva implementando en sus teléfonos desde hace ya bastante tiempo.

Por su parte, el Sistema Operativo de Google llegó bastante más tarde a poder ofrecer un producto que fuese realmente accesible para los usuarios con necesidades especiales. En el caso de Android (Google), el sistema para habilitar las características de accesibilidad se llama *Talk Back* y desempeña prácticamente las mismas tareas que el de Apple. Por tanto, es igualmente válido para este tipo de teléfonos. Sin embargo, *Talk Back* no se encuentra tan integrado en el sistema como *Voice Over*. Esto se debe a que Google ejecuta *Talk Back* como otra aplicación del Sistema Operativo, en lugar de ser un componente básico. Google introdujo la accesibilidad bastante más tarde que Apple y no fue hasta la versión 4.2 cuando presentó algo más o menos manejable con esta aplicación. También cabe destacar que, en los últimos tiempos, las características de accesibilidad han ido aumentando y, poco a poco, nos encontramos con un sistema que ya es bastante accesible.

En el mundo de la accesibilidad de los teléfonos móviles para personas ciegas o con baja visión, se hace uso fundamentalmente de tres características principales que son:

- **Síntesis de voz:** el terminal utiliza voces sintéticas o pregrabadas para transmitir al usuario el contenido que hay en pantalla, ya que, en muchos casos, dicho contenido no se puede ver o resulta muy complicado verlo, debido a las características de los individuos. Estas características ya se usan desde hace muchos años en los sistemas que ofrecen accesibilidad para, por ejemplo, el uso de ordenadores Windows o en el caso de anotadores personales para personas ciegas o con baja visión. En el caso de los dos sistemas operativos que hemos mencionado, junto con su capa de accesibilidad, podemos decir que ambos ofrecen esta característica, que ayuda muchísimo al acceso a la información por parte del individuo.
- **Uso de gestos o escaneo de la pantalla:** puesto que la práctica totalidad de los terminales móviles tiene pantallas que funcionan de forma táctil, se hizo necesario tratar con la interacción con la pantalla de un modo diferente al que se hace de forma *standard*. Para ello, se crearon gestos que nos permitiesen navegar de forma ordenada por los elementos que aparecen en la pantalla o la posibilidad de ir moviendo el dedo sobre la pantalla para poder ver lo que hay en cada posición de ésta. Gracias a esta adaptación, hoy en día, todo tipo de personas con problemas en la vista puede interactuar sin demasiados problemas con las aplicaciones de teléfonos móviles de cualquiera de los dos Sistemas Operativos anteriormente nombrados.
- **Aplicación de *Zoom*:** en el caso de personas con baja visión que no sean ciegas, es posible que se encuentren más cómodas trabajando con su teléfono en según qué circunstancias, haciendo uso de una versión ampliada de las pantallas. Estas características, al igual que los lectores de pantalla, también han existido en los ordenadores de sobremesa desde hace bastantes años y no era de extrañar que, en los terminales móviles actuales, se implantase. De hecho, ambas plataformas poseen dicha característica.

Dada la existencia de esta capa de accesibilidad en ambos tipos de terminales, en el caso de un sistema como el del trabajo que se está realizando, podría ser posible hacer uso de ambas plataformas. Sin embargo, como se verá más adelante, se optó por el uso de la plataforma Android, más por una cuestión de facilidad de acceder al producto que por el uso de una plataforma iOS.

3.3.2. Envío de órdenes

Como se ha podido ver en el punto anterior, el envío de órdenes al sistema para interactuar con éste no es un grave problema, ya que, en el caso de los dos sistemas operativos mencionados, la capa de accesibilidad resuelve este problema. Sin embargo, cabe mencionar que, debido a las carecterísticas que ofrecen hoy día este tipo de terminales, también es posible hacer uso de la tecnología de reconocimiento de voz.

Desde hace ya varios años, el reconocimiento del habla se ha utilizado tanto para dar órdenes a una computadora, como para dictar textos o similares. Esto se ha podido utilizar con el fin de ahorrar, simplemente, algo de tiempo o como un medio de otorgar accesibilidad a personas con problemas motrices que no podían interactuar físicamente con un ordenador.

Puesto que las plataformas actuales nos ofrecen la posibilidad de tener acceso a estas tecnologías, es algo que tener en cuenta y con lo que, como se verá más adelante, se trabajará, aunque sea con un prototipo con el que evaluar su utilidad.

3.3.3. Interfaz de comunicación

En el capítulo anterior, comentábamos la importancia de hacer uso de elementos que no fueran demasiado aparatosos, que no fuesen muy caros y que, ante todo, permitiesen al usuario operar con normalidad sin que el uso de las interfaces que se utilizasen fuese un impedimento a la hora de desplazarse. Por ello, comentamos aquí la existencia de una tecnología que, como sucedía en el caso anterior con el reconocimiento del habla, se lleva utilizando desde hace años en el tema de la accesibilidad, pero que no había llegado a las manos de usuarios generalistas hasta hace bien poco.

La tecnología a la que nos estamos refiriendo es la transmisión de sonidos por medio de la vía ósea (Tonndorf (1976)). Dicha tecnología se lleva usando desde hace años en la fabricación de audífonos para personas con problemas auditivos y hasta hace bien poco, como se ha mencionado, no había llegado a auriculares comerciales. Este tipo de auriculares se basa en que transmiten el sonido por medio de vibraciones que transmiten a través de los huesos del cráneo hasta el oído interno.

Hasta este momento, no se había podido comprobar si el uso de este tipo de auriculares producía problemas a personas ciegas o con baja visión a la hora de transitar por las calles. Por tanto, hemos decidido hacer una prueba y observar si el hecho de dejar las vías auditivas libres hace que los usuarios objetivo de este estudio se encuentren más cómodos que haciendo uso de auriculares tradicionales.

Finalmente, cabe hacer hincapié en que la combinación de estas tecnologías podría dar como resultado un sistema bastante interesante, con el que podamos combinar un auricular con transmisión ósea que posea micrófono

y tecnología *bluetooth*, con las capacidades de reconocimiento de habla y las APIs de accesibilidad de los terminales actuales, de tal forma, que consigamos interactuar de un modo bidireccional con el teléfono, sin necesidad de sacarlo del bolsillo del usuario.

Capítulo 4

Identificación de las necesidades de los usuarios y resolución de problemas asociados

RESUMEN: El tema de estudio de esta tesis es, como se ha podido observar, predominantemente social y se centra en un conjunto muy específico de usuarios. Por tanto, se ha creído oportuno concentrarse en este conjunto de usuarios para obtener la mayor cantidad de información posible, que nos facilite el desarrollo de un mejor estudio. Con este fin, se ha creado un formulario que nos ayudará a obtener dicha información. En este capítulo, se mostrará la forma en la que se ha diseñado este cuestionario y cuáles han sido los resultados que se han podido extraer del mismo.

Tras el análisis de los resultados del formulario, se identificaron los problemas que resultan más importantes para los usuarios. En la segunda parte del capítulo, se realizarán una serie de prototipos y experimentos que resolverán o explicarán los problemas secundarios que se identifiquen, centrados principalmente en la forma de comunicar con el terminal utilizado y en el aviso por adelantado de los problemas de carácter temporal que pudiera haber en los recorridos del peatón.

4.1. Necesidad de obtener información

Como se viene viendo, el problema a tratar en la tesis tiene gran impacto social, con lo que la adquisición de información basada en la población objetivo a la que va a afectar el estudio es de vital importancia.

Tal y como se expresó con anterioridad, deducimos que ciertas circunstancias pueden hacer sentir incómodas a las personas ciegas o con baja visión a la hora de desplazarse o pueden causarles problemas. Sin embargo, en la realidad, no se sabe exactamente en qué es en lo que nos tenemos que fijar para mejorar su experiencia.

Por otra parte, según se ha podido ver en los estudios de plataformas ya existentes hasta la fecha, el medio que se utilice para la comunicación con el usuario es también vital y, en todo caso, tiene que ser funcional y poco invasivo o, al menos, al igual que en el punto anterior, eso es lo que se ha podido deducir. Sin embargo, al igual que en aquel punto, esto requiere ser contrastado con la opinión de usuarios.

De aquí se puede concluir que, indudablemente, la adquisición de información de primera mano desde las propias personas es algo crucial para poder seguir trabajando en el estudio. Por lo cual, se decidió hacer una encuesta con preguntas que pudiesen aportar información relevante, al tiempo que nos ayudasen a corroborar que nuestras premisas eran correctas, abriendo la posibilidad de que apareciesen nuevas dudas que no se habían tenido en cuenta hasta el momento.

4.2. Creación de un formulario para la extracción de información

La forma que se eligió para obtener la información necesaria para llevar a cabo el estudio fue la creación de un formulario que se distribuyó entre un conjunto de usuarios. A continuación, se mostrará la forma en que se diseñó este formulario y el estudio de los resultados obtenidos con las respuestas recopiladas.

4.2.1. Diseño de un formulario para recoger información

Como se expresó en el punto anterior, era de suma importancia obtener información de primera mano y, para ello, se diseñó un formulario con el que podríamos recabar datos relevantes para el estudio.

El formulario fue alojado en la red para que los encuestados pudieran acceder a él y contestaran sin ningún problema. Se eligió la plataforma de Google forms, ya que es muy sencilla de manejar y se trata de una plataforma suficientemente accesible para que el público objetivo del estudio no tuviese problemas a la hora de acceder a las preguntas.

Para clasificar mejor la información y poder comprenderla, decidimos dividir el formulario en dos partes bien diferenciadas: una primera sección, en la que recoger información sociodemográfica de los participantes para poder dividirlos en diferentes grupos si procediese y, por otra parte, una sección totalmente dirigida a la obtención de información útil para el estudio.

Como se podrá apreciar a continuación, el cuestionario completo constaba de 21 preguntas, que se dividían en varios grupos.

4.2.1.1. Sección para el estudio sociodemográfico

Como ya se ha adelantado, la primera parte del formulario constaba de una serie de cuestiones, orientadas a distribuir a los participantes en diversos grupos de población, por si pudiera ser de utilidad para comprender lo que cada grupo de personas requiere del sistema.

Estas preguntas nos permitirían saber la franja de edad en la que se mueven los individuos, el resto visual que conservan, la movilidad que tienen y los conocimientos informáticos que poseen, para saber lo familiarizados o no que están con la tecnología.

En concreto, las preguntas que se utilizaron para ello fueron las siguientes:

- ¿En qué franja de edad te encuentras?
- ¿Tienes resto visual? ¿De qué tipo?
- ¿Utilizas bastón en tus desplazamientos habitualmente?
- ¿Te sueles mover habitualmente con Perro Guía?
- Con respecto a la tecnología ¿Dentro de qué conjunto de entre los siguientes te englobarías?
- Cuando trabajas en un dispositivo móvil ¿Utilizas lector de pantalla?
- En tu terminal móvil ¿Qué sistema operativo utilizas?

Como se puede observar, el cuestionario es suficientemente conciso como para hacernos una idea de la información que se deseaba extraer, y suficientemente corto como para evitar que el encuestado se viese agobiado por el número de datos personales que se le pide.

4.2.1.2. Sección para la extracción de información relevante

Por otra parte, una segunda sección, más extensa, consistía en una serie de preguntas que ayudasen a identificar factores como: la forma en la que ofrecer los datos, qué información ofrecer y otras preguntas que nos sirviesen para diseñar el sistema.

Esta parte del formulario contiene preguntas que podemos englobar en varios grupos:

4.2.1.2.1. Tipo de instrucciones y modo en que se facilitan. En primer lugar, surgía la duda acerca de cómo deberían ser las instrucciones que les gustaría recibir a los encuestados cuando se les indicase una ruta. Asimismo, se dudaba sobre la utilidad o no de hacer un resumen de la ruta antes de empezarla. Estas son las preguntas que se plantearon:

- Cuando te dan instrucciones para llegar a algún sitio, ¿qué tipo de indicaciones prefieres que te den (concisas o desarrolladas)?
- Cuando te van a dar instrucciones para llegar a un sitio ¿te gustaría que te hicieran un “resumen” de los lugares más o menos significativos por los que vas a pasar?

4.2.1.2.2. Interfaz con el usuario. En otro grupo de preguntas, se trata la forma en la que el usuario debería interactuar con la aplicación y el modo en que ésta debería interactuar con el usuario para diseñar una interfaz lo más adecuada posible para el usuario, de manera que sea útil y que no le cause ningún problema a la hora de interactuar mientras sigue las instrucciones recibidas. Las preguntas planteadas fueron:

- ¿Crees que tener los oídos tapados (con auriculares) puede ser un problema a la hora de desplazarte?
- ¿Crees que el hecho de estar unido al dispositivo por un cable puede ser perjudicial en los traslados?
- ¿Crees que el uso de señales acústicas ante determinados eventos, en lugar del uso de frases, puede ser más indicado o eficaz?
- ¿Y la combinación con vibraciones?
- Si te encuentras en un entorno ruidoso, ¿qué prefieres, que el volumen se adapte automáticamente o controlarlo por ti mismo?
- ¿Te gustaría que hubiese atajos para que se te repitieran las instrucciones o que pudieras solicitar un nivel mayor de detalle en las mismas?
- Qué preferirías ¿interactuar directamente con el terminal o darle instrucciones por medio del habla?

4.2.1.2.3. Percepción del entorno. El siguiente punto, en el que también estábamos interesados en extraer la mayor cantidad de información posible, consiste en averiguar cómo percibe el usuario los diferentes lugares, observar qué le plantea mayores problemas o ver en qué se fija para poder ubicarse correctamente en determinadas situaciones. Para lo cual se realizaron las siguientes cuestiones:

- ¿Tienes algún tipo de medida personal establecida a la hora de medir distancias para localizar puntos de referencia en los desplazamientos (pies, puertas, árboles...)? ¿Cuáles?
- ¿Qué obstáculos son los que te producen más problemas a la hora de sortearlos? ¿Por qué?
- ¿Utilizas algún tipo de establecimiento/comercio como referencia para ubicar una zona o lugar?
- ¿Y algún otro elemento urbano o sensación?
- ¿En qué te sueles fijar a la hora de cruzar una calle?
- ¿En qué te sueles fijar a la hora de atravesar una plaza?
- ¿Y en el caso de un parque?

4.2.1.2.4. Interacción con medios sociales. Teniendo presente el componente social, cada vez más activo, que están incorporando hoy día numerosos sistemas informáticos, hemos querido aprovechar esta oportunidad para ver hasta qué punto estarían interesados los encuestados en participar en actividades sociales que pudieran mejorar el funcionamiento de una plataforma de creación de rutas seguras. Las cuestiones planteadas han sido las siguientes:

- ¿Te gustaría colaborar aportando rutas al sistema y que otros usuarios también lo hagan?
- ¿Te gustaría que las rutas “donadas” fuesen validadas?
- ¿Te gustaría que en las rutas “donadas” se distinguiese entre las validadas y las no validadas?
- ¿Te gustaría que se distinguiese entre rutas automáticas y rutas “donadas”?
- En el caso de que planees hacer una ruta y te encuentres con que esa ruta no está entre las “donadas” y tampoco se pueda calcular con la información que poseamos, ¿te gustaría tener la posibilidad de pedir ayuda a la “comunidad” para que creen una ruta específica o que se intente mapear una zona?

4.2.2. Análisis de las respuestas

Una vez enumeradas todas las secciones de las que constaba la encuesta, vamos a realizar el análisis de las respuestas ofrecidas por los usuarios.

4.2.2.1. Sección para el estudio sociodemográfico

Al estudiar las respuestas de la primera parte del formulario, con respecto a este tema, hemos podido obtener los siguientes resultados: en primer lugar, se puede ver que el espectro de usuarios que hemos podido encuestar se encuentra en el rango de edad entre 20 y 69 años (se establecieron rangos de edad de 10 años). Un 40 % de los encuestados se encuentra en un rango de visión muy reducido (como mucho, son capaces de reconocer formas) y el resto son personas invidentes. En el 90 % de los casos, el instrumento escogido para facilitar el desplazamiento es el bastón, mientras que tan solo en un 10 % de los casos, se recurre al perro guía. En cuanto a la tecnología, el 90 % de los encuestados estima que su nivel de conocimiento es medio o superior, de entre los cuales, un 33 % se considera experto. Todos los encuestados están familiarizados con el uso de lectores de pantalla en sus terminales móviles; de hecho, en un 90 % de los casos, se trata del método utilizado para acceder a dichos terminales.

4.2.2.2. Sección para la extracción de información relevante

En esta fase, el análisis de los resultados se agrupó de la misma forma que se había hecho en el diseño del formulario, con el fin de tener más claro los diferentes temas y que luego fuese todo más sencillo de comprender. Según las respuestas recibidas, los resultados fueron los siguientes:

4.2.2.2.1. Tipo de instrucciones y modo en que se facilitan. De los resultados obtenidos, cabe deducir que la totalidad de los encuestados con resto visual prefiere recibir instrucciones precisas. De las personas sin resto visual, un 50 % (con nivel medio o superior de conocimientos tecnológicos) optan sin duda por unas instrucciones precisas, mientras que la otra mitad (nivel medio o inferior) agradecería algo más de información en las instrucciones aportadas.

En cuanto a la preferencia por tener una vista general previa al inicio del trayecto, los resultados no permiten apreciar un patrón definido, sino que, más bien, muestran que, posiblemente, la mayoría de los usuarios lo agradecería. Sin embargo, como se trata de una característica que aparentemente es pionera, los encuestados no están muy seguros de la utilidad de ésta. En cuanto a este punto, los encuestados tienden a considerar interesante que se pudiera ver en cualquier momento del trayecto y, sobre todo, que no fuese demasiado extensa, de modo que pudieran saltársela si así lo desearan.

4.2.2.2.2. Interfaz con el usuario. Tras el análisis de los resultados, se puede apreciar que, salvo en sujetos puntuales, el uso de auriculares en los desplazamientos produce un gran perjuicio a los encuestados. Por otra parte, pese a que no se observa una clara mayoría en los resultados, la presencia de

cables también incomoda a algunos usuarios. Por ello, conviene buscar alguna alternativa a la utilización de los auriculares tradicionales, circunstancia que se estudiará más a fondo posteriormente, en donde plantearán una serie de experimentos para conseguir el método de comunicación con el usuario más apropiado.

En cuanto a la forma de interacción con el terminal, se puede deducir de los resultados que, según el espectro encuestado, el conjunto de la sociedad objetivo del trabajo suele ser bastante conservador y prefiere, en la mayoría de los casos, métodos que ya están más que probados. Sin embargo, los perfiles más avanzados, están abiertos a otras posibilidades como, por ejemplo, el uso del habla para interactuar con la aplicación; lo cual, a nuestro juicio, podría facilitar la movilidad del sujeto si el ruido del entorno lo permite, al evitar que se tenga que extraer el terminal de donde se tenga guardado. Esto es también extrapolable, por ejemplo, al control del volumen: en la mayoría de los casos, se prefiere un sistema que el usuario pueda controlar, en lugar de utilizar un sistema “inteligente”, capaz de adaptarse al entorno.

En cuanto a los *feedbacks* ofrecidos de forma alternativa a las instrucciones por voz, de la encuesta se extrae que, en el caso de ser implantados, sería aconsejable ofrecer un área de la aplicación, dedicada a su aprendizaje o personalización y que siempre se prefieren *feedbacks* que hagan reaccionar lo más rápido posible y de una forma inequívoca; con lo cual, estos *feedbacks* deben ser claramente diferenciables entre sí y nunca ser impuestos por la aplicación, sino, más bien, ser una opción que el usuario debería activar.

4.2.2.2.3. Percepción del entorno. Tras el análisis de este nuevo conjunto de preguntas, se han podido extraer un elevado número de elementos urbanos que deberían ser mapeados con el fin de construir una mejor experiencia de navegación para el usuario. Asimismo, al estudiar las respuestas a estas preguntas, ha quedado claro que las obras (en especial, en las que hay presencia de andamios) constituyen un caso muy importante que tener en cuenta para intentar encontrar alguna forma de señalar este tipo de contingencias, en ocasiones imprescindibles, que suceden de forma puntual. Además, cabe señalar que, al leer las respuestas de los encuestados, también hace falta una gran labor de concienciación a la hora de utilizar las vías peatonales y no entorpecerlas, como hacen en muchas ocasiones establecimientos que colocan carteles en mitad de las vías o como el uso abusivo que se hace a veces de veladores que dificultan de forma excesiva el tránsito.

Al afrontar diferentes tipos de situaciones, se ha podido extraer la siguiente información de las respuestas aportadas: en los cruces, el elemento en el que más se fijan los encuestados es el tráfico, tanto el de la calle que se desea cruzar, como el de las calles paralelas, la anchura de los carriles, la presencia o no de semáforos sonoros y, si fuese necesario, las acciones de otros peatones. En el caso de las personas con resto visual, también hacen uso de

éste para cruzar con mayor facilidad. Con ello, sacamos la conclusión de que habrá que priorizar pasos con semáforo sonoro y con una lógica de cruce lo más sencilla posible, al tiempo que será conveniente evitar cruces que posean un número muy elevado de carriles y, sobre todo, los que no estén trazados en línea recta, advirtiendo esta circunstancia en el caso de ser inevitable.

En el caso del cruce de plazas o al atravesar parques, se utiliza en gran medida elementos que puedan mostrar recorridos a través de éstos. Del mismo modo, se toma como referencia el movimiento del resto de peatones o elementos que puedan marcar una posición determinada mediante algún tipo de sonido (como pueden ser fuentes). En el caso de personas con resto visual, utilizan bastante dicho resto para evitar problemas.

4.2.2.2.4. Interacción con medios sociales. Pese al desconocimiento que se suele tener, la comunidad que engloba a las personas que son objetivo de este estudio suelen tener una alta presencia en redes sociales, sobre todo, en redes tipo Twitter. Los resultados obtenidos en la encuesta lo ponen de manifiesto. La práctica totalidad de las respuestas obtenidas en este apartado apunta a que los usuarios están muy interesados en un componente social para este tipo de aplicación, tanto de forma activa (donando y evaluando rutas), como de forma pasiva (únicamente haciendo uso de las rutas ya creadas). También cabe destacar la importancia que debe tener la privacidad en este tipo de aplicación, ya que se está hablando de la ubicación de personas. Otro aspecto relevante que recordar es la necesidad de la evaluación de las rutas (como indican los encuestados en sus respuestas); lo cual garantizaría rutas seguras y de calidad para cualquiera que las desee utilizar.

4.3. Resultados de la adquisición de información

La información que se ha podido extraer de este formulario ha ayudado a comprender mejor el problema al que nos estamos enfrentando y ha resultado de gran utilidad a la hora de desarrollar el trabajo, ya que ha aportado tanto material con el que empezar a trabajar (por ejemplo: una lista de elementos con la que se trabajará en el futuro, que representa aspectos que se debe tener en cuenta al mapear las regiones), como nuevas dudas que se intentará resolver más adelante.

Por una parte, el estudio muestra la necesidad de buscar rutas que sean seguras para los usuarios que, por lo que se puede apreciar, va a ser el eje central en torno al cual, girará el aporte de la tesis. Así mismo, se plantea el problema que ya se pudo observar anteriormente al estudiar el modo en que ofrecer al usuario la información y, finalmente, vuelve a tener gran importancia para los usuarios, como ya se había subrayado con anterioridad, la existencia de eventos puntuales o problemas que afecten de forma transitoria a la topología de las rutas.

Debido a la importancia de dar información y de ver cómo afrontar problemas puntuales, se ha decidido crear un apartado específico, en el que plantear una posible solución para dichos problemas.

4.4. Resolución de problemas secundarios

En la sección anterior, hemos concluido que tenemos una serie de problemas que hay que afrontar. El primero y más importante es la falta de algún método de captación de información y mapeado de zonas urbanas que sea capaz de ofrecer rutas totalmente seguras a los transeúntes con problemas de visión. El segundo problema es tratar con obstáculos temporales que podrían aparecer en la ruta y alterarla; lo cual, según se ha podido observar, es de suma importancia para los implicados; sobre todo, si se trata de obras y, más en concreto, obras con andamios. Un tercer problema es la forma de interactuar con el usuario: no puede ser ni demasiado intrusiva ni pasar desapercibida para el usuario. A lo largo del trabajo, se ha podido apreciar que existen más problemas que pueden aparecer, pero, a modo de síntesis, los que se han expuesto son los que se deberían tener en cuenta para esta primera aproximación.

Por otra parte, debido a la limitación temporal que se tiene para la realización de esta tesis, se ha decidido que el grueso de la misma se centrará en el primer punto de los que se han enumerado en el párrafo anterior (“creación de rutas seguras”). Sin embargo, hemos querido hacer, al menos, una pequeña incursión en dos asuntos que también son muy relevantes: la interacción con el usuario y el problema de los obstáculos temporales.

En cuanto al asunto de tratar “el modo de comunicar las cosas”, así como otros que han aparecido en los capítulos anteriores, los hemos considerado como temas suficientemente importantes y extensos para su estudio en una tesis específicamente dedicada a dichos aspectos. Por tanto, no se van a tratar en esta tesis. No obstante, sí se hará referencia a estos problemas en la sección dedicada a las conclusiones y al trabajo futuro, donde se darán unas breves pinceladas acerca de dichos puntos.

A continuación, se expondrán los problemas considerados como “menores” a los que se ha tratado de dar una solución básica y se dejará para los capítulos siguientes el tema principal de la tesis.

4.4.1. Problema de la interacción con el usuario

Como se pudo apreciar en el apartado relativo a la adquisición de información, al estudiar los resultados ofrecidos por las respuestas aportadas por los encuestados (al igual que se observó al analizar los sistemas ya existentes, con sus diversas formas de ofrecer y recibir información), el modo en que el usuario recibe la información de la aplicación le puede producir a éste algu-

nos problemas. En concreto, nos referimos a la forma de utilizar auriculares para escuchar las instrucciones que le comunica la aplicación.

4.4.1.1. Experimento para evaluar métodos de percepción de la información

Para elegir un sistema suficientemente cómodo y conveniente de auriculares, se ha llevado a cabo un experimento controlado, en el que un usuario sin resto visual realizó una ruta por una zona conocida utilizando diferentes tipos de dispositivos, con el fin de observar cuál era el comportamiento del usuario y las sensaciones que experimentaba.

Para realizar este experimento, se utilizaron tres tipos de dispositivos. En primer lugar, unos auriculares intraaureales conectados directamente a un terminal móvil que el sujeto llevaba en un bolsillo/bolso. En segundo lugar, el usuario utilizó unos auriculares también intraaureales; pero, esta vez, los auriculares utilizaban la tecnología *bluetooth* como interfaz de conexión con el teléfono, que podía ir guardado incluso en una mochila. En tercer lugar, se utilizaron otros auriculares *bluetooth*, pero de transmisión ósea, los cuales dejan libres las vías auditivas principales y transmiten el sonido a través de los huesos del cráneo hasta el oído interno.

En la primera parte del experimento, el sujeto realizó una ruta por un trayecto cotidiano con los auriculares puestos y sin que éstos produjesen ningún sonido, mientras que, en todo momento, supervisábamos la situación para que no surgiese ninguna circunstancia que pudiera conllevar algún tipo de riesgo.

En este experimento, pedimos al sujeto que nos diera una opinión acerca de sus sensaciones a lo largo de la experiencia. Las respuestas obtenidas tras las diferentes experiencias no hacían más que confirmar los resultados que ya se pudieron observar en la encuesta. Es decir: el usuario se sentía molesto por la presencia del cable que lo conectaba al dispositivo móvil. Pero esto no era de gran importancia para el usuario si lo comparase con la incomodidad que le producía tener que ir con los oídos tapados (frente a la posibilidad de llevarlos al aire). De todas formas, esta última opción tampoco le resultaba del todo cómoda, debido a la sensación de llevar algo tan próximo al oído, que le hacía sentir que podría entorpecer en algún momento su audición.

Por nuestra parte, también se observaron las diversas situaciones que se daban y, si bien no podemos ofrecer ninguna opinión acerca de la idoneidad o no del uso de un dispositivo cableado o no, ya que la diferencia de movilidad entre uno y otro es inapreciable (si es que ésta llega a existir), sí se advirtió, no obstante, una mayor sensación de seguridad en los movimientos que realizaba el sujeto con auriculares de transmisión ósea; ya que, en general, se torcía bastante menos en los desplazamientos en los que los utilizaba. Además, el número de ocasiones en las que el usuario accedía con la mano a retirar el auricular o la cantidad de veces en las que se lo retiró fue también menor en

el caso del auricular de transmisión ósea.

Tras observar estos resultados, llegamos a la conclusión de que la utilización de un auricular de transmisión ósea (que permite mantener libres las vías auditivas principales del usuario) es la opción más adecuada a la que podemos recurrir en la actualidad, ya que, aunque no sea lo más cómodo que el usuario pueda esperar, se trata de los auriculares que hoy día le producen menor perjuicio. En cuanto a la presencia de cable o no, se optará por un dispositivo con capacidad *bluetooth*, para que el usuario se sienta lo más cómodo posible.

4.4.1.2. Experimento para la evaluación de la percepción de información

Además del experimento expuesto en la sección anterior, se realizó una segunda parte para evaluar si la calidad de audio del dispositivo elegido era la adecuada. Para ello, se hicieron unas pruebas en ambientes con distintos niveles de ruido para que el usuario tratase de identificar diferentes palabras/frases que se transmitían a los auriculares desde un terminal móvil al que estuviesen conectados y que serían producidas por el sintetizador de voz del propio dispositivo.

En este experimento, se demostró que la calidad de sonido de los auriculares era suficiente para poder ser oído en condiciones de ruido más o menos normal y que, mediante el uso del control del volumen, el usuario sería capaz de encontrar un volumen adecuado para la situación en la que se encontrase. Sin embargo, en circunstancias muy ruidosas, puede darse el caso de que el usuario no oiga las palabras/frases transmitidas, ya que el hecho de dejar las vías auditivas despejadas no solo hace que se pueda percibir el entorno, sino que también provoca que éste pueda ser demasiado ruidoso para oír una fuente de sonido que no se aísla del propio ambiente.

Después de realizar este experimento, se pudo constatar que la comunicación en sentido máquina-usuario se puede resolver mediante el uso de la síntesis de voz del dispositivo y con la utilización de este tipo de auriculares que dejan las vías auditivas del usuario libres de obstáculo.

Por otra parte, para la comunicación en el sentido usuario-máquina, no se llegó a realizar ningún experimento, pero si se implementó un sistema de reconocimiento de habla, en el que el usuario solo tendría que pulsar un botón en los auriculares, sin necesidad de desbloquear su dispositivo móvil ni sacarlo del bolsillo/bolso. Este sistema permite que el usuario mande realizar una instrucción de las que han sido registradas, sin tener que interactuar directamente con el dispositivo. Las acciones que puede realizar el usuario son fácilmente extensibles y permiten el uso de sinónimos para una misma acción.

Tampoco hay que olvidar que podría surgir una situación en la que el

usuario no tuviese los dispositivos necesarios para esta interacción o no fuese capaz de manejarse correctamente con este nuevo tipo de interfaz, con lo cual, es importante recordar la utilización de los métodos de entrada y salida tradicionales y usarlos de una forma correcta, para que el usuario pueda acceder a ellos sin problemas (todas las áreas deben ser alcanzables, todos los botones deben estar etiquetados, los contrastes deben ser los correctos, etc.).

Con ello, la forma de interactuar con el dispositivo quedaría más o menos resuelta, a falta de hacer pruebas reales con un sistema completamente implementado.

4.4.2. Problema de los obstáculos de carácter temporal

En los resultados de los cuestionarios iniciales, también quedó claro que la presencia de obras y, sobre todo, las obras con andamios provocan grandes problemas a los encuestados a la hora de transitar por la calle, lo cual reprodujo la duda sobre cómo actuar ante dichas circunstancias.

A priori, los obstáculos que se encuentran en una ubicación determinada de forma permanente no deberían constituir ningún problema grave para el proyecto, ya que estarían mapeados de antemano. Sin embargo, los elementos de carácter temporal no se pueden almacenar de un modo preciso en la base de datos con la que se esté trabajando.

4.4.2.1. Evaluación del posible problema

Antes de buscar una solución para este supuesto problema, quisimos realizar un pequeño experimento, con el fin de comprobar que éste era realmente un problema y que, avisando con antelación, se atenuaban los posibles trastornos que se pudiera provocar.

Para llevar a cabo este experimento, se realizó una serie de tránsitos por calles, tanto con obstáculos como sin ellos, de tal forma, que, en ocasiones, en las calles en las que había obstáculos temporales, se avisaba al individuo con antelación acerca de la presencia de dichos obstáculos.

Mediante dichas pruebas, se pudo observar que la forma en la que el individuo circulaba se veía afectada por el hecho de que se le avisase o no al caminar por las calles con obstáculos. En consecuencia, quedó claro que al avisar de los obstáculos con antelación, el individuo se encuentra con menos inconvenientes al transitar por dichas calles. Sin embargo, con ello, se aminora la velocidad con la que se camina.

Tras esta primera experiencia, se repitió el proceso, dando dos tipos de avisos relativos a lo que el individuo se iba a encontrar: unos que simplemente alertaban de la presencia de un obstáculo y otros más descriptivos. En este caso, se observó que el individuo transitaba con más seguridad cuando sabía exactamente a qué se iba a enfrentar.

Por tanto, según lo observado en los cuestionarios y tras el experimento realizado, se puede determinar que es deseable que, cuando haya obstáculos de carácter temporal, se intente describir dichos obstáculos con la mayor precisión posible tratando de ser a la vez lo más escueto posible.

4.4.2.2. Posible solución mediante el uso de balizas *bluetooth*

Por último, en este experimento, se utilizó un sistema de balizado basado en *iBeacons*, de tal forma, que hubiese diferentes tipos de obstáculos y se avisase al sujeto cuando estuviera dentro de un radio de acción determinado.

En este caso, se pudo observar que, en un proyecto como éste, los sistemas de balizado pueden ser de utilidad para labores concretas (como la que se estaba presentando en este experimento). Además, no solo la precisión es importante al describir los obstáculos, sino que la distancia a la que se realiza el aviso también puede ser de gran relevancia, aunque no sea fundamental.

Lo que se ha mostrado aquí marca un punto de partida para la detección de obstáculos puntuales; de modo que se podría ofrecer al usuario información adicional sobre lo que se va a encontrar o se podría lograr que el sistema replanificase una ruta y eliminase ciertas aristas/nodos del grafo de rutas.

Como se recordará, con los *iBeacons*, se puede aportar información muy limitada, que, posiblemente, sea suficiente para identificar de forma unívoca el problema con el que nos encontramos.

Puesto que estos dispositivos son bastante económicos, no costaría demasiado acoplarlos a determinados elementos de las obras para alertar con antelación sobre la presencia de las mismas a personas ciegas o con baja visión.

Dejaremos para trabajos posteriores la implementación y uso de esta tecnología.

Capítulo 5

Creación de una métrica y un método de mapeado para mapear zonas urbanas

RESUMEN: En este capítulo, se desarrolla el problema principal de la tesis. En él, se desarrolla un método para describir los diferentes elementos que nos podemos encontrar en las vías urbanas, tales como cruces, obstáculos puntuales o zonas con obstáculos. Además, se verá cómo se ha diseñado unas métricas adecuadas para calcular las rutas más seguras posibles y más personalizadas posibles, debido a la alta configurabilidad que se ha buscado en el diseño. Asimismo, se observará cómo se ha creado una metodología que nos ayude a tener una forma lógica para mapear zonas, de tal manera, que capturen toda la información necesaria para el cálculo de las rutas seguras.

5.1. Mapeo de áreas urbanas orientado a peatones

Siempre que se utiliza un sistema de mapas, se puede apreciar que la mayor parte de la información que se ofrece está centrada en las vías de circulación de automóviles y, en muy pocas ocasiones, hay información relativa a las zonas destinadas a los peatones o, cuando la hay, se trata de una información muy restringida o que solo hace referencia a las vías principales.

Cuando se hace uso de aplicaciones para calcular rutas, éstas solo utilizan dicha información (que es de la que disponen), con lo cual, las rutas para automóviles suelen estar calculadas de una forma correcta, teniendo en cuenta el sentido de las carreteras, los límites de velocidad, los cruces, etc. Sin embargo, cuando se desea calcular rutas orientadas a peatones, los resultados no son tan buenos, ya que siguen usando esta base de conocimiento y



Figura 5.1: Vías Compartidas (izq) vías separadas (der)

eliminando las restricciones de sentido de las carreteras o sus límites de velocidad, pero no se tiene en cuenta las situaciones que podrían ser de interés para los peatones. Por ejemplo: la ubicación de todos los pasos de peatones, las vías interiores de las manzanas que no se suelen mapear, la presencia de escaleras, la pendiente de la calle, etc.

Por todo lo anterior, se hace imprescindible comenzar viendo cómo se debería reflejar la geometría de las vías peatonales, de tal forma, que se pueda capturar toda la información interesante para un peatón.

Open Street Maps permite mapear toda la geometría de las vías existentes en un área con un gran nivel de detalle. Mediante el uso de su sistema, se puede describir desde autopistas, con todos sus atributos (como el número de carriles, la velocidad, etc.), hasta caminos rurales en mitad del campo o incluso accidentes geológicos o vías fluviales, tales como ríos.

El sistema de OSM permite describir las vías peatonales de múltiples formas. Por una parte, el usuario puede mapear la red de caminos peatonales de una forma completa y describir las vías que se encuentran a los lados de las calzadas, los paseos, las vías interiores de las manzanas, los pasos de peatones o cualquier otro tipo de vía. Por otra parte, también permite mapear las vías que quedan a los lados de las calzadas como atributos asociados a las vías de los automóviles, de modo que se simplifica considerablemente la geometría de la red de vías de comunicación.

La existencia de estas dos posibilidades de describir las vías peatonales ha provocado que, en la comunidad de OSM, hayan surgido algunas discusiones acerca de qué método es mejor y existen usuarios a favor y en contra de cada uno de los dos métodos. Al parecer, no se ha llegado a ningún consenso y ambas opciones continúan despertando opiniones enfrentadas.

A continuación, se van a plantear varias situaciones reales, las cuales van a ser analizadas, de forma que se pueda deducir cuál debería ser el mejor método para describir la geometría de las vías en un sistema que tenga que almacenar y vincular ciertos fragmentos de vías con la información que resulta necesaria para construir un sistema como el que se está estudiando.

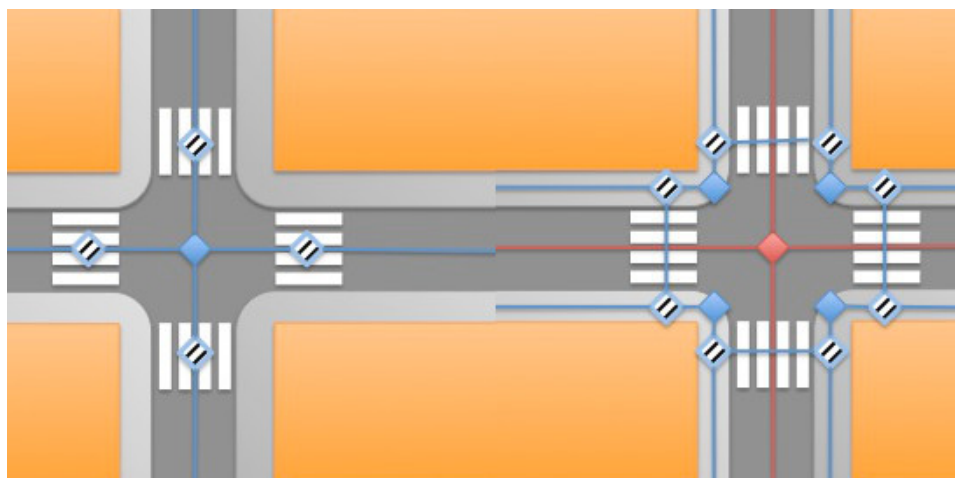


Figura 5.2: Cruce vías Compartidas (izq) cruce vías separadas (der)

En la figura 5.1, se puede ver un fragmento de carretera recto que tiene una vía peatonal a uno de sus lados. Como se puede apreciar en la parte derecha de la imagen, se ha trazado una vía principal que representa la carretera y, paralelamente a ésta, se ha trazado otra línea, destinada a describir el camino para los peatones. Esto mismo se podría haber descrito simplemente con la vía principal e indicando en el atributo *sideway* a qué lado de la carretera se encuentra la vía peatonal (representado en la parte izquierda de la imagen). Si la vía tuviese una vía peatonal a ambos lados, tampoco habría habido ningún problema; ya que, en el caso de vías diferenciadas, se habrían dibujado dos líneas paralelas (una a cada lado de la vía principal) y, en el otro caso, el atributo *sideway* habría tenido el valor *both*, que indica la situación descrita.

Una situación muy normal sería la siguiente: una calle tiene vías peatonales a ambos lados y un paso de peatones (figura 5.2). En este caso, con la opción en la que se replican las vías a cada lado de la carretera, no habría ningún problema, ya que se podría definir el segmento que describe un paso de peatones y, además, se podría ampliar la información sobre dicho paso de peatones e indicar si el suelo tiene relieve en ese punto, la altura del escalón (si es que hay), si el paso tiene un semáforo o, entre otras cosas, si éste es un semáforo sonoro, todo ello particularizado para cada uno de los dos extremos del paso. Si se incluyen las vías peatonales sobre la vía principal, la información sobre los pasos de peatones no se puede representar con tanto detalle.

El mero hecho de tener la situación que se da en el punto anterior ya sería suficiente para decantarse por la opción de duplicar las vías y dar una red independiente a las vías peatonales, ya que el uso de pasos de peatones es algo indispensable a la hora de ofrecer rutas seguras a los peatones con algún

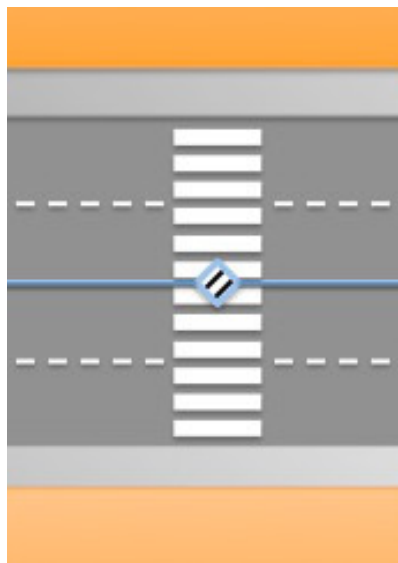


Figura 5.3: Vía ancha con vías compartidas)

problema de visión. No obstante, habría razones adicionales para hacerlo.

La primera y más obvia es la precisión que se puede aportar con cada representación. Por una parte, si se utiliza el formato que hace uso exclusivo de las vías dedicadas al tráfico para representar también las peatonales, cuando nos encontremos cruzando una carretera ancha (figura 5.3), el sistema representará el paso de peatones como un punto y, a simple vista, no se podría saber bien por dónde se encuentra caminando el peatón. En este caso, también resulta complicado diferenciar si se está caminando por una acera o por la de enfrente. Con lo cual, también constituye un motivo para decantarse por las vías separadas.

El hecho de tener vías separadas también permite ubicar con mayor facilidad obstáculos u otro tipo de elementos en el camino, que se encuentren en un lado de la acera y no en el otro (figura 5.4); como comercios, portales de edificios, garajes, entre otras cosas.

Pese a todo si que sería deseable mapear la representación de las vías dedicadas a los automóviles, ya que esto podría ofrecer más información acerca del entorno, como por ejemplo: saber la dirección en la que circula el tráfico y, con ello, reconocer zonas o clasificar áreas que puedan resultar de interés.

5.2. Representación de la información del plano

Llegado este punto, ya se sabe qué se debe representar (vías peatonales y para automóviles de forma separada) y solo resta establecer un formato de

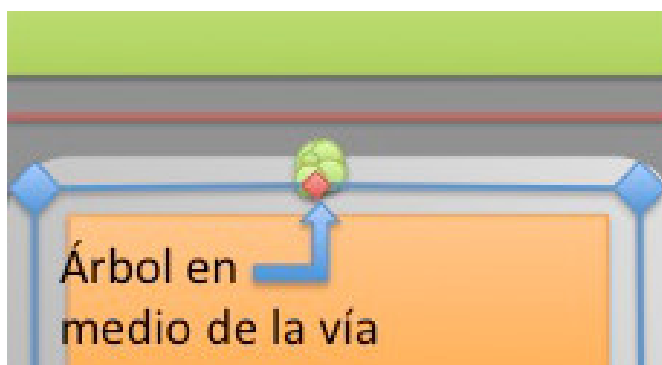


Figura 5.4: Obstáculo en el medio de una vía)

intercambio con el que persistir la información definida disponible antes de empezar a ver como crear datos con información relevante. Existen muchos métodos para representar información y cada uno tiene sus pros y sus contras. Se puede encontrar la información, por ejemplo, en formato binario o en otro tipo de formato que sea más legible para el usuario humano.

Otras opciones para representar la información, más allá de un formato binario, son, por ejemplo, JSON o XML. En ambos casos, se trata de formatos legibles por el hombre y ambos formatos tienen una representación anidada. Por otra parte, el formato XML puede resultar más claro para ser leído que el JSON, sin embargo, éste, al tener menos información redundante, es más compacto.

En este proyecto, como ya se ha podido observar, se debe almacenar básicamente nodos, fragmentos y atributos asignados a éstos, con lo cual, cualquiera de los dos métodos sería válido y preferible, en estos momentos, a la representación binaria, ya que se puede ver e interpretar a simple vista la información. No obstante, en futuras revisiones, se podría utilizar formatos binarios, que suelen ser más compactos y suele ser más rápido trabajar con ellos.

Al estudiar el sistema de OSM, cabe destacar que ellos hacen uso de una representación de la información que es totalmente compatible con la que se necesita. Con lo cual, podremos utilizar esa misma representación para almacenar la información. El formato utilizado por OSM se puede ver en el listado 5.1 el cual está comentado con las explicaciones específicas de cada fragmento del formato.

Listing 5.1: Formato XML de OSM.

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <!-- indicamos la versión del documento y el creador del mismo
   además de introducir los límites de la zona explorada -->
3 <osm version="" generator="">
4   <bounds minlat="" minlon="" maxlat="" maxlon="" />
5 <!-- Lista de nodos que existen en el área-->

```

```

6 <!-- Información básica del nodo con su identificador su
   posición, su visibilidad información acerca del usuario que
   lo ha creado el número de cambio y version... -->
7 <node id="" lat="" lon="" user="" uid="" visible="" version=""
   changeset="" timestamp=""/>
8 <!-- Hay nodos que pueden tener características especiales las
   cuales son listadas en nuevos elementos contenidos dentro del
   nodo -->
9 <node id="" lat="" lon="" user="" uid="" visible="" version=""
   changeset="" timestamp=""/>
10 <!-- Listado con características específicas del nodo -->
11 <!-- cada Característica viene dentro de un tag con unos
   atributos "k" para la clave y "v" para el valor. -->
12 <tag k="" v=""/>
13 ...
14 </node>
15 ...
16 <!-- Listado de caminos formados por los diferentes nodos
   listados anteriormente -->
17 <!-- Cada camino, tiene una información base muy similar a la
   de los nodos con su id información del creador y acerca de
   su creación y versiones -->
18 <way id="" user="" uid="" visible="" version="" changeset=""
   timestamp="">
19 <!-- Lista ordenada de los nodos que forman el camino
   referenciandolos por medio del identificador de cada nodo
   anteriormente listado -->
20 <nd ref=""/>
21 ...
22 <!-- Los caminos al igual que los nodos pueden tener una serie
   de características específicas que se listan exactamente de
   la misma forma que en los nodos (por medio de un tag con los
   atributos "k" y "v") -->
23 <tag k="" v=""/>
24 ...
25 </way>
26 <!-- Como puede haber relaciones entre nodos y entre caminos (e
   incluso entre relaciones) para por ejemplo designar zonas,
   aquí se plasmaría una lista con todas las posibles
   relaciones -->
27 <!-- Las relaciones al igual que los caminos y los nodos tienen
   una serie de información básica muy similar. -->
28 <relation id="" user="" uid="" visible="" version="" changeset=
   "" timestamp="">
29 <!-- Dentro de la relación se enumeran todos los componente que
   pertenecen a esa relación -->
30 <!-- Aquí se introduce el tipo de elemento que es el que se está
   relacionando (nodo/camino/relación), se indica el
   identificador único y el rol de ese elemento -->
31 <member type="node/way/relation" ref="" role=""/>
32 ...
33 <!-- Finalmente al igual que pasaba en los nodos y los caminos,
   las relaciones tambien pueden tener una lista de
   características específicas que funcionan de la misma manera

```



```

34     que lo hacian en los casos anteriores. —>
35     <tag k="" v="" />
36     ...
37 </relation>
38 ...
39 </osm>

```

Tal vez sea más sencillo comprenderlo con un ejemplo. A continuación hay un ejemplo de documento XML con información de OSM (listado 5.2)

Listing 5.2: Ejemplo de documento xml de OSM.

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <osm version="0.6" generator="CGImap 0.0.2">
3   <bounds minlat="54.0889580" minlon="12.2487570" maxlat="
4     54.0913900" maxlon="12.2524800"/>
5   <node id="298884269" lat="54.0901746" lon="12.2482632" user="
6     SvenHRO" uid="46882" visible="true" version="1" changeset="
7     676636" timestamp="2008-09-21T21:37:45Z"/>
8   <node id="261728686" lat="54.0906309" lon="12.2441924" user="
9     PikoWinter" uid="36744" visible="true" version="1" changeset=
10    ="323878" timestamp="2008-05-03T13:39:23Z"/>
11   <node id="1831881213" version="1" changeset="12370172" lat="
12     54.0900666" lon="12.2539381" user="lafkor" uid="75625"
13     visible="true" timestamp="2012-07-20T09:43:19Z">
14     <tag k="name" v="Neu Broderstorf"/>
15     <tag k="traffic_sign" v="city_limit"/>
16   </node>
17   <node id="298884272" lat="54.0901447" lon="12.2516513" user="
18     SvenHRO" uid="46882" visible="true" version="1" changeset="
19     676636" timestamp="2008-09-21T21:37:45Z"/>
20   <way id="26659127" user="Masch" uid="55988" visible="true"
21     version="5" changeset="4142606" timestamp="2010-03-16
22     T11:47:08Z">
23     <nd ref="292403538"/>
24     <nd ref="298884289"/>
25     <nd ref="261728686"/>
26     <tag k="highway" v="unclassified"/>
27     <tag k="name" v="Pastower Straße"/>
28   </way>
29   <relation id="56688" user="kmvar" uid="56190" visible="true"
30     version="28" changeset="6947637" timestamp="2011-01-12
31     T14:23:49Z">
32     <member type="node" ref="294942404" role=""/>
33     <member type="node" ref="364933006" role=""/>
34     <member type="way" ref="4579143" role=""/>
35     <member type="node" ref="249673494" role=""/>
36     <tag k="name" v="Küstenbus Linie 123"/>
37     <tag k="network" v="VWV"/>
38     <tag k="operator" v="Regionalverkehr Küste"/>
39     <tag k="ref" v="123"/>
40     <tag k="route" v="bus"/>
41     <tag k="type" v="route"/>
42   </relation>

```

30 </osm>

Como se puede observar, con este formato (listado 5.2), se almacena la información que se necesita (como nodos y caminos). Los nodos se apoyan sobre coordenadas geográficas, mientras que los caminos (las vías) lo hacen sobre los nodos ya descritos. Este formato define además las relaciones, que pueden apoyarse en cualquiera de los dos anteriores (nodos y vías). Cada uno de estos elementos, además, tiene una sección que permite al usuario definir unos atributos propios de este elemento por medio de pares clave valor ($k=v$), lo cual hace que sea muy extensible.

No obstante, para este trabajo, se va a simplificar un poco el formato, ya que, aunque se podría incluir el estudio en la base de datos de OSM, al menos de momento, nos limitaremos a un ámbito más restringido, en el que nos podremos permitir el eliminar cierta información que, en concreto trata acerca del control de versiones y de las relaciones, por tanto, no nos aporta nada. Por otro lado si quisieramos trasladarlo a OSM, con la herramienta gráfica, está información sería agregada automáticamente por el sistema al loguearnos e introducir los nuevos puntos o atributos. El formato resultante, quedaría como se muestra en el listado 5.3.

Listing 5.3: Formato XML simplificado.

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <topology>
3   <node id="n0" lat="lat" lon="lon" >
4     <tag k="clave" v="valor"/>
5     ...
6     <tag k="clave" v="valor"/>
7   </node>
8   ...
9   <way id="m" >
10    <nd ref="ni"/>
11    <nd ref="nj"/>
12    ...
13    <nd ref="nz"/>
14    <tag k="clave" v="valor"/>
15    ...
16    <tag k="clave" v="valor"/>
17  </way>
18 </topology>

```

Con este formato tan extensible, se puede representar sin ningún problema las características que tengan las vías por las que los usuarios del estudio se van a mover, lo cual permitirá tener ciertos valores que ayuden a evaluar las vías como buenas o no.

Con la información presentada en el formato anteriormente citado, habrá que representar la red de comunicaciones con la que se va a trabajar. Ésta estará representada en un formato de nodos y aristas que tendrán diferentes pesos asociados a su longitud y a la dificultad que se pueda intuir de la

información extraída. Sobre esta red, se aplicará un método de cálculo de rutas basado en el algoritmo A*, este algoritmo es un algoritmo muy extendido que nos permite calcular rutas dentro de un grafo haciendo uso de pesos asociados a los nodos y a las aristas, lo cual nos ayudará a calcular la mejor ruta atendiendo a la métrica que se decida utilizar. Las métricas que se pudieran utilizar en este algoritmo son muy variadas y en este caso tal y como se verá a continuación garantizarán que las rutas que se calculen sean lo más seguras posibles para el peatón ciego o con baja visión.

En los siguientes puntos, se expondrá cómo y por qué representar los diversos elementos que un peatón pudiera encontrarse en sus recorridos, así como la forma en la que se va a ponderar el paso por diferentes vías.

5.3. Modelado de cruces de calles

Cualquiera que sea el destino final al que un peatón se quiera dirigir, este se encontrará con la circunstancia de que, casi con toda seguridad, habrá que cruzar vías destinadas al tránsito de vehículos. Por ello, el modelado de los cruces es de gran importancia y merece una sección específica para su análisis.

Una persona ciega o con baja visión, se encuentra con que el hecho de tener que cruzar calles le puede suponer un riesgo más elevado que a una persona sin ningún problema de visión. Por ello, resulta necesario asegurar que el camino que se selecciona como mejor opción garantiza que estos riesgos se minimicen, lo cual obliga a evaluar los distintos tipos de cruces existentes y a hacer una categorización de los mismos, con el fin de poder diseñar una métrica lo más adecuada posible para evaluar lo adecuado de un cruce. Además de esta posible clasificación inicial de los cruces, cabe la posibilidad de que haya que agregar elementos que atenúen o agraven la métrica asignada a un cruce en particular debido a sus características particulares.

Como paso inicial para la clasificación de los cruces, se ha decidido seguir las indicaciones observadas en los cuestionarios realizados y, sobre la base de la morfología del cruce, gravar con un menor peso los cruces que poseen una lógica de cruce más sencilla y asignar un mayor peso a los que presentan una lógica más compleja.

Según lo anterior y atendiendo tanto a la forma del cruce como a los sentidos del tráfico y sin tener en cuenta otros elementos que puedan acompañar al cruce, se han definido tres tipos de cruces (figura 5.5):

- Tipo 1: Cruces que están bien marcados en la mitad de una calle, por los cuales, puede venir tráfico de un lado, de otro o de ambos a la vez.
- Tipo 2: Cruces que están al final de una calle y se encuentran con una vía destinada al tráfico de vehículos, de forma perpendicular a la calle



Figura 5.5: Tipos de cruces.

que se desea cruzar. Sin embargo, desde esta calle perpendicular, no puede circular tráfico hacia la calle que se va a cruzar.

- Tipo 3: Es un cruce de Tipo 2 desde el cual, sí puede desviarse tráfico de la calle perpendicular a la que se desea cruzar.

Como se puede apreciar, los cruces de Tipo 1 son los más sencillos, ya que en ellos, solo se va a cruzar una calle de uno o varios sentidos, en la que resulta más fácil controlar el tráfico, porque, por ejemplo, en el mejor de los casos, se puede esperar a que los vehículos dejen de transitar y, en el peor de los casos, los automóviles no van a hacer movimientos extraños para el peatón, de forma que es más sencillo ubicar con mayor precisión los vehículos.

El caso que, a simple vista, puede resultar más confuso a la hora de encuadrar como un tipo de cruce en sí mismo es el de Tipo 2. Morfológicamente, este tipo de cruce, es similar al caso 3 y, con respecto a la lógica del tráfico que circula por la calle que se desea cruzar, la situación es muy similar a la del Tipo 1 o, en determinados casos, puede que parezca incluso más fácil. Sin embargo, la clave de este cruce radica en el tráfico que circula por la vía perpendicular a la que se va a cruzar, porque el sonido del tráfico en sí (que, en este caso, no se va a detener en ningún momento para facilitar el cruce) podría provocar, en determinadas circunstancias, que el peatón se confunda o despiste.

El tercer tipo de los expuestos es, obviamente, el más complejo, ya que, por una parte, surge el problema de la cantidad de fuentes de sonido (que pueden despistar al peatón, al provenir de distintos lugares igual que en el caso 2) y, por otra parte, el tráfico real, en esta ocasión, puede transitar por la vía que se desea cruzar, en efecto, puede venir de distintas localizaciones, lo cual, en este caso, resulta más difícil controlar con claridad.

Como ya se ha señalado en una de las descripciones anteriores, es totalmente necesario que un paso de peatones esté claramente identificado, ya sea mediante el uso de relieves en el suelo, un vado o cualquier otro elemento que

ayude a identificarlo. Para una persona sin resto visual, un paso de peatones que se encuentre sin marcar en una zona desconocida es como si no existiese, ya que no hay nada que le ayude a averiguar que es un buen lugar para cruzar.

Lo que se ha expuesto hasta ahora es una primera aproximación, ya que puede darse la situación de que diferentes aspectos afecten a un paso de peatones que, a priori, podría ser clasificado como una buena opción y que termine siendo descartado o viceversa, puede que un paso clasificado como una mala opción, finalmente, debido a sus circunstancias, pueda ser una opción preferible a un paso de un tipo que, en principio, parecería más adecuado. De todo ello, se puede extraer la conclusión de que hay condiciones para los cruces que pueden ser atenuantes y otras que pueden ser agravantes.

A continuación, se van a subrayar las condiciones que afectan como atenuantes ante el tránsito por cruces y que a su vez resultan ser las más obvias de observar:

- Cruces con semáforo: Estos elementos urbanos son de gran utilidad a la hora de cruzar, ya que controlan el tráfico de vehículos ante diferentes circunstancias, aunque, en el caso de estudio, la que realmente importa es cuando se encuentran junto a un cruce peatonal en el que obligan al tráfico rodado a detenerse para facilitar y priorizar el tránsito de los peatones en dicho cruce. En este trabajo tal y como era de esperar, esta circunstancia es muy deseable, ya que el hecho de encontrarse con un tráfico totalmente detenido da seguridad y evita que el peatón sufra inconvenientes.
- Semáforos con señal acústica: Estos elementos son de gran importancia para los peatones ciegos o con baja visión y se puede categorizar como una adaptación específica para este colectivo, ya que no solo indica el estado en el que se encuentra el semáforo, sino que también ayuda a enfocar la dirección hacia la que hay que dirigirse, lo cual es muy importante en cruces que están en ángulo o que tienen un tránsito de peatones muy elevado y desordenado.

El uso de estos elementos es algo a lo que todo el mundo se encuentra acostumbrado y cuya implantación no es demasiado compleja, con lo cual, no debería haber ningún problema para poder ser instalados en la mayoría de los cruces o, al menos, en los más conflictivos o potencialmente más peligrosos. De todas formas, cabe destacar que de nada sirve el uso de estas medidas sin la concienciación de los conductores, que deben respetar las indicaciones emitidas por estos elementos. La utilización de los semáforos sonoros también hace una gran labor por las personas ciegas y con baja visión y el precio que se paga (el pitido producido por el semáforo), si se encuentra debidamente mantenido y diseñado, no debería producir ningún perjuicio a los vecinos que

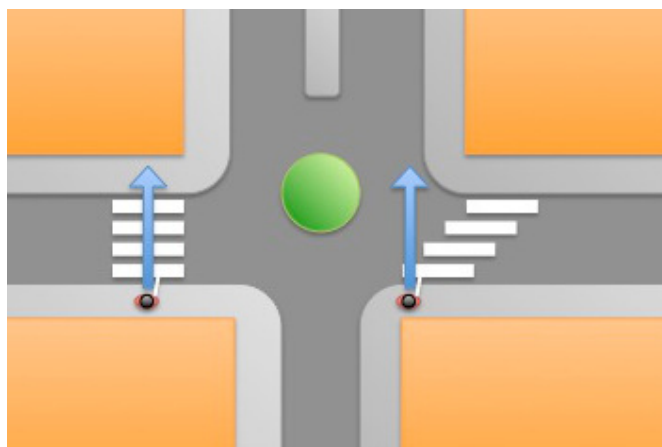


Figura 5.6: Cruce recto Vs Cruce en ángulo.

habiten en las proximidades de estos elementos, que, en no pocas ocasiones, son apagados por los ayuntamientos a horas muy habituales para que dichas zonas sean transitadas.

Por otra parte, existe una serie de circunstancias que pueden agravar el peso que se les debe dar a los diferentes tipos de cruces, estas son:

- Pasos en ángulo (figura 5.6): Esta es, posiblemente, una de las circunstancias que más agravan el uso de un semáforo, ya que la presencia de un paso de peatones que haga ángulo con respecto al borde de la vía peatonal puede despistar al transeúnte ciego o con baja visión y colocarle en una situación de peligro real, al desorientarle del lugar al que se tiene que dirigir para cruzar correctamente la calle. Estas situaciones no son aisladas. Se suelen encontrar en vías que dibujan leves curvas; sobre todo, a la hora de acercarse a una rotonda.
- Presencia de rotondas (figura 5.7): Como ya se ha adelantado en el punto anterior, la presencia de rotondas es otro elemento que puede hacer que el transeúnte tenga problemas para transitar correctamente y, sobre todo, al cruzar una calle que, en este caso, se une a la circunstancia de que éstas van a ser necesariamente de Tipo 2 o Tipo 3, según lo que se ha descrito anteriormente.
- Número de carriles que cruzar: El número de carriles es un punto que se debe tener en cuenta, ya que, cuanto mayor sea el número de carriles, mayor será la dificultad, al tener, por ejemplo, que atender a una mayor cantidad de vehículos y tener un camino más largo que recorrer en el que, a menos de que se disponga de un semáforo sonoro, no se recibe ningún tipo de feedback que indique si se camina en la dirección correcta.

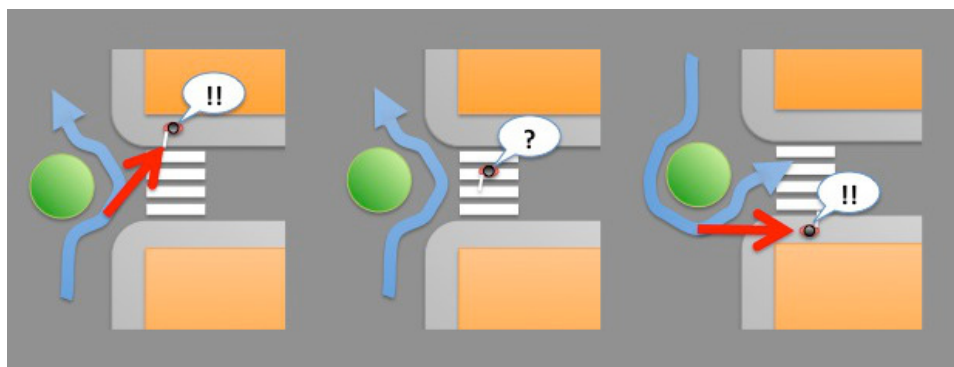


Figura 5.7: Cruces con rotondas.

Probablemente, habrá más elementos que tener en cuenta al diseñar un cruce, tanto para bien como para mal, sin embargo, para este estudio, son éstos los que inicialmente se han identificado. Por otra parte, la modernización del tráfico y la introducción de sistemas como el “stop-start” o los coches eléctricos hacen que el control del tráfico por parte del peatón ciego o con baja visión se haga cada vez más complicado y que, por su parte, obligue a las autoridades a tener que legislar acerca de problemas que anteriormente no se habían producido, como por ejemplo el garantizar una cantidad de ruido mínimo que ayude a los peatones a localizar los vehículos en tránsito.

5.3.1. Diseño de una métrica para el pesado de cruces

Como ya se ha descrito, se han identificado tres tipos de cruces, que servirán como punto de partida para otorgar un peso u otro a la fórmula de evaluación de pesado.

El menos gravado será el paso de Tipo 1, que se verá gravado con un valor de 1,5 (lo cual indica que cruzar por un paso de peatones recto, sin señalización mediante semáforos, tiene un coste de 0,5 veces más el valor de ir por una vía peatonal óptima). Este peso se ha asignado como punto de partida con el fin de otorgar a una vía tal como un paso de peatones un peso algo superior al peso que tiene el transitar por una vía peatonal estándar. No obstante, debido a lo que ya se ha comentado anteriormente, estos valores al igual que muchos otros de los que se verán en esta métrica deberán ser configurables para adaptarse a las preferencias de los usuarios.

El segundo tipo más gravado será el de Tipo 2, que se encuentra en un valor de 2,25 (grava un poco más del doble que el cruce de Tipo 1). Al igual que sucedía en el caso anterior y al igual que sucederá en el último de los tipos de cruces, el peso se ha dado como un punto de partida a partir del cual trabajar y que al igual que sucedía en el anterior este valor también debería de ser susceptible de ser adaptado al usuario.

Finalmente, el cruce de Tipo 3 será el más pesado y se gravará con un valor de 3, que es hasta 4 veces más gravado que el cruce de tipo 1 ($3 - 1 = 2 = 0,5 * 4$). Este valor sigue la misma tendencia que los casos anteriores y es por esto un valor inicial con el que trabajaremos que igualmente debería de poderse adaptar al usuario.

Por otro lado, tanto los agravantes como los atenuantes existentes también tienen unos pesos que se sumarán directamente al factor de peso de cada tipo de cruce. Como viene siendo tónica los valores que aquí se otorgan a los distintos elementos serán unos valores iniciales que deberían ser adaptables a cada usuario en particular si fuese necesario.

En primer lugar, tanto la presencia de semáforos como la de semáforos sonoros se ha valorado como un valor atenuante de 0,25 cada uno. De esta forma, se consigue que un cruce directo de Tipo 1 con un semáforo sonoro sea equivalente a caminar por una vía peatonal óptima, quizá esto no sea así para todos los usuarios y el simple hecho de cruzar, por muchas ayudas que existan, va a suponer un problema para el usuario.

En el caso de los agravantes, existen dos condiciones que, claramente, se desean evitar: en primer lugar, el uso de un paso de peatones en ángulo es el factor que más grava el cruce; ya que, como se ha expuesto anteriormente, este tipo de cruces pone al peatón en una situación que puede llegar a ser de peligro real. Teniendo esto en cuenta, el valor de agravamiento es de 2,25 puntos, lo cual hace que un cruce de tipo 1 por el mero hecho de encontrarse en ángulo con la métrica que se va a probar va a ser menos recomendable que un cruce de tipo 3 sin ningún modificador.

La segunda situación solo estará presente en los cruces de Tipo 2 y Tipo 3. En este caso se trata de la presencia de rotondas anexas al cruce. Esta situación no pone directamente en peligro al peatón, pero sí que puede hacer que éste sufra una desorientación mayor a la hora de cruzar o puede aumentar la inseguridad que siente el peatón; con lo cual, se ha decidido gravar tan solo con 0,5 puntos.

Si alguno de estos factores no está presente, no se aplicará ningún factor de agravamiento/atenuación o, lo que es lo mismo, el factor que sumar será de 0 puntos. Y además, en ningún caso hay que olvidar que estos valores se deberían de poder ajustar a las preferencias de los distintos usuarios.

Por último, se tendrá en cuenta el número de carriles y el ancho de los mismos. Estos dos factores irán directamente relacionados entre sí. Por una parte, el número de metros va a gravar de forma lineal la dificultad del cruce y, por otra parte, el número de carriles, en principio, no debería gravar con tanta agresividad, hasta llegar a una cantidad de carriles umbral, con la cual, sí se dispararía la dificultad. Este comportamiento, ha sido extraído de conversaciones con personas con baja visión y ciegas que comentan que el número bajo de carriles no es algo extremadamente importante, pero cuando suben de un número se hace más complicado cruzar y esto se puede entender

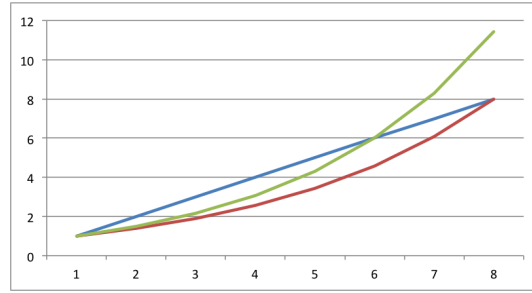


Figura 5.8: Crecimiento lineal Vs $n_0 = 6$ Vs $n_0 = 8$.

que sucede de forma exponencial a partir de ese umbral. Por tanto, para diseñar este último factor (el número de carriles) se ha elaborado una fórmula exponencial que, hasta el valor umbral, se ubicaría por debajo de una función pendiente con pendiente igual a 1. Teniendo esto en cuenta, la ecuación diseñada es la siguiente:

$$v = ((1 + x)^n) - x \quad (5.1)$$

donde n es el número de carriles y x se despeja mediante la siguiente fórmula:

$$n_0 = ((1 + x)^n) - x \quad (5.2)$$

donde n_0 es el valor umbral para el número de carriles. Esta fórmula describe una curva que pasa por las coordenadas (1,1) y (n_0, n_0) con un crecimiento exponencial, como se puede apreciar en la figura 5.8.

Para el caso en cuestión, se ha decidido que el valor de umbral sea 6, con lo cual, la ecuación resultante para despejar x es una ecuación de sexto grado, con la forma siguiente:

$$0 = -5 + 5x + 10x^2 + 15x^3 + 10x^4 + 6x^5 + x^6 \quad (5.3)$$

de la cual, se extrae que el valor aproximado de x será 0,36120402.

Con todo lo anterior, los componentes de la fórmula serán los siguientes:

$$T = t_1 * 1,5 + t_2 * 2,25 + t_3 * 3 \quad (5.4)$$

$$S = -((s_1 + s_2) * 0,25) \quad (5.5)$$

$$A = a * 2,25 \quad (5.6)$$

$$R = r * 0,5 \quad (5.7)$$

$$N = ((1 + 0,36120402)^n) - 0,36120402 \quad (5.8)$$

donde t_1 , t_2 y t_3 tienen valor 0 para indicar que el cruce no es de ese tipo y 1 para lo contrario (solo uno puede tener el valor 1 a la vez y nunca pueden ser los tres iguales a 0). Por su parte, s_1 , s_2 , a y r indican respectivamente si hay semáforo, si el semáforo es sonoro, si el cruce está en ángulo y si hay rotonda o no. Por último, n indica el número de carriles del cruce. El tener todo esto parametrizado favorece el ajuste personalizado de las dificultades a los usuarios.

De este modo, la fórmula para calcular el peso de un cruce quedaría de la siguiente forma:

$$v = (T + S + A + R) * (m * N) \quad (5.9)$$

Donde T es el valor base asignado al tipo de cruce con el que nos encontramos, S es el valor asociado a los semáforos, A indica si el cruce se encuentra en ángulo, R indica si hay rotonda o no, m es el número de metros que mide el cruce y N es el peso derivado del número de carriles.

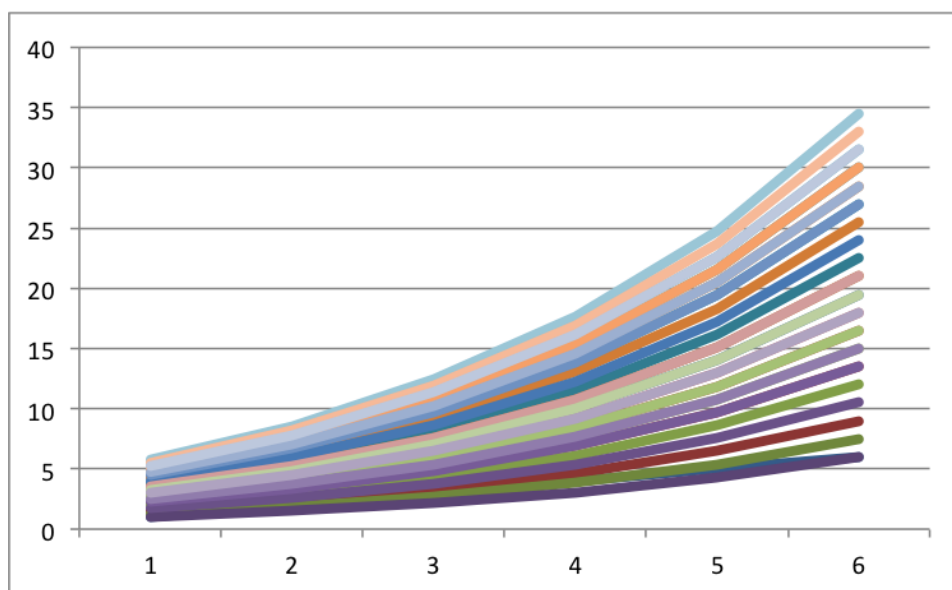
En la tabla siguiente, se puede observar diferentes valores para las distintas configuraciones de cruces, mediante el uso de las medidas que se ha comentado anteriormente. Cabe destacar que los valores que aparecen tanto en la tabla como en la gráfica (figura 5.9) que la representa son el factor por metro de cruce, es decir: habrá que multiplicar este valor por los metros que mida el cruce.

Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Semáforo	S. Sonoro	Ángulo	Rotonda	Número de carriles					
							1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0	1,5	2,237508546	3,241408144	4,607920312	6,468022169	9,000000293
1	0	0	0	1	0	0	1,25	1,864590455	2,701173453	3,839933593	5,390018474	7,500000244
1	0	0	0	1	1	0	1	1,491672364	2,160938763	3,071946875	4,312014779	6,000000196
1	0	0	0	0	0	1	0	3,75	5,593771365	8,10352036	11,51980078	16,17005542
1	0	0	1	0	0	0	3,5	5,220853274	7,563285669	10,75181406	15,09205173	21,00000068
1	0	0	1	1	1	0	3,25	4,847935183	7,023050978	9,983827343	14,01404803	19,50000064
0	1	0	0	0	0	0	2,25	3,356262819	4,862112216	6,911880468	9,702033253	13,50000044
0	1	0	1	0	0	0	2	2,963344728	4,321877525	6,143893749	8,624029558	12,00000039
0	1	0	1	1	1	0	1,75	2,610426637	3,781642834	5,375907031	7,546025863	10,50000034
0	1	0	0	0	0	1	4,5	6,712525638	9,724224431	13,82376094	19,40406651	27,00000088
0	1	0	1	0	1	0	4,25	6,339607547	9,183989741	13,05577422	18,32606281	25,50000083
0	1	0	1	1	1	0	4	5,966689456	8,64375505	12,2877875	17,24805912	24,00000078
0	1	0	0	0	0	1	2,75	4,102099001	5,942581597	8,447853905	11,85804064	16,50000054
0	1	0	1	1	0	0	2,5	3,72918091	5,402346906	7,679867187	10,78003695	15,00000049
0	1	0	1	1	1	0	2,25	3,356262819	4,862112216	6,911880468	9,702033253	13,50000044
0	1	0	0	0	0	1	5	7,45836182	10,80469381	15,35973437	21,56007739	30,00000098
0	1	0	1	1	0	1	4,75	7,085443729	10,26445912	14,59174765	20,4820702	28,50000093
0	1	0	1	1	1	1	4,5	6,712525638	9,724224431	13,82376094	19,40406651	27,00000088
0	0	1	0	0	0	0	3	4,475017092	6,482816288	9,215840624	12,93604434	18,00000059
0	0	1	1	0	0	0	2,75	4,102099001	5,942581597	8,447853905	11,85804064	16,50000054
0	0	1	1	1	1	0	2,5	3,72918091	5,402346906	7,679867187	10,78003695	15,00000049
0	0	1	1	0	0	1	5,25	7,531279911	11,3449285	16,12772109	22,63807759	31,50000103
0	0	1	1	1	0	1	5	7,45836182	10,80469381	15,35973437	21,56007739	30,00000098
0	0	1	1	1	1	1	4,75	7,085443729	10,26445912	14,59174765	20,4820702	28,50000093
0	0	1	0	0	0	1	3,5	5,220853274	7,563285669	10,75181406	15,09205173	21,00000068
0	0	1	1	1	0	1	3,25	4,847935183	7,023050978	9,983827343	14,01404803	19,50000064
0	0	1	1	1	1	0	3	4,475017092	6,482816288	9,215840624	12,93604434	18,00000059
0	0	1	0	0	0	1	5,75	8,577116093	12,42539788	17,66369453	24,79408498	34,50000112
0	0	1	1	1	0	1	5,5	8,204198002	11,86516319	16,89570781	23,71608128	33,00000108
0	0	1	1	1	1	1	5,25	7,531279911	11,3449285	16,12772109	22,63807759	31,50000103

5.3.2. Representación de los pasos de peatones

Como se puede apreciar, la representación elegida para este proyecto es una malla de nodos y caminos, en la que se debe integrar los pasos de peatones de una forma más o menos coherente.

Lo primero que indica la forma en la que se deben representar los pasos de peatones es que el peso de los tramos es directamente proporcional a la

Figura 5.9: Factores para cruces con $n_0=6$.

longitud del paso, con lo cual, hay que utilizar elementos que representen una longitud tal y como lo hacen los “caminos”, en lugar de los nodos que carecen de longitud. Con lo cual para ello se usará la representación de OSM que marca un camino peatonal *footway* como un paso de peatones *crossing*.

■ *footway=crossing*

Por otra parte, una vez establecido que la forma de representar los pasos de peatones va a ser los caminos, dichos caminos estarán descritos por 2 nodos, de modo que sean comunes a las vías peatonales y al propio paso de peatones. El siguiente paso consiste en representar las características específicas de los distintos tipos de pasos de peatones. Para ello, se hará uso de la extensibilidad del lenguaje de representación que utiliza OSM.

Por ejemplo: para indicar si un paso de peatones cuenta con un semáforo que lo controle o no, se utilizará el atributo ya definido en OSM con la clave “*crossing*”. Asimismo, se usarán los posibles valores “*uncontrolled*” para cuando no hay semáforo y “*traffic_signals*” para cuando sí lo hay. La primera de las opciones será la que se reconocerá como opción por defecto en el caso de no encontrarse este atributo. El caso de los semáforos sonoros también está contemplado por defecto en el vocabulario de OSM mediante el atributo “*traffic_signals:sound*”. En este caso, se trata de un atributo booleano, que podrá tener los valores “*yes/no*” para indicar su presencia o no, por defecto, se supondrá que no está presente.

El sistema requiere otra serie de características que no están contempladas en el vocabulario de OSM, tales como, el número de carriles que cruzar,

si el paso de peatones está en ángulo o no, si el paso de peatones tiene a su lado una rotonda o no y, por supuesto, saber de qué tipo de paso de peatones se trata (según los tipos que ya se han establecido en puntos anteriores).

Prácticamente todas estas características pueden ser extraídas de las vías que discurren alrededor del propio cruce, ya que, en las vías destinadas al tráfico, se podría almacenar información, como el número de carriles o la geometría que estas vías guardan para clasificar los cruces. Por otra parte, mediante el análisis de los ángulos entre las vías peatonales y los propios pasos de peatones, también se podría averiguar si éstos discurren de forma directa o si están en ángulo. Sin embargo, para este trabajo y para su posterior validación, se ha considerado que es mucho más directa y conlleva un menor número de cálculos la opción de ofrecer la alternativa de informar explícitamente en los pasos de peatones de estas características, para las cuales, se definen los siguientes atributos:

- *roundabout* = *yes/no*
- *angular_crossing* = *yes/no*
- *lanes_number* = *natural*
- *crossing_ref* = “Tipo1”, “Tipo2” o “Tipo3”

La alternativa de utilizar adicionalmente estos atributos descarga a la máquina de la tarea de tener que realizar cálculos y, en el almacenamiento en una base de datos, no supone una gran carga, ya que esta información se puede almacenar en unos pocos bytes. Por ello, pese a que un sistema final debería poder intuir el tipo de cruce y algunas de estas características de una forma automática, se recomienda que se utilice la representación de los cruces incluyendo los atributos que los describen, con el fin de eliminar carga al sistema y de evitar posibles casos mal modelados.

En un paso que no indique si está en ángulo o no, habría que recoger la información de la línea tangente a las vías que representan las zonas adyacentes al paso de peatones (figura 5.10), justo en el nodo que comparten con éste y la línea que representa el propio paso de peatones, con el fin de calcular el ángulo que forman y, si no son perpendiculares por un ángulo superior a 5° hacia cualquier lado, el cruce será identificado como en ángulo.

Si no se ha identificado el tipo de cruce, se utilizarán las vías destinadas a vehículos que cruzan. En este caso, se verá si la vía se ramifica a una distancia umbral y el ángulo que forman estas ramas, al tiempo que se tendrá en cuenta el sentido del tráfico justo en el punto en el que cruzan las vías el paso de peatones.

En el caso de las rotondas, también se podría localizar ciclos en los que el tráfico circule en un único sentido, pero esto es más complicado y, simplemente, se podrían buscar vías próximas con el atributo *junction* que tengan



Figura 5.10: Cruce en ángulo.

el valor *roundabout* para identificar cruces que tengan rotondas cerca, en el caso de que no se haya definido el atributo *roundabout* en el cruce.

A continuación, se mostrarán dos ejemplos de pasos de peatones y se señalará cómo podrían quedar descritos dichos pasos, atendiendo a lo que se ha comentado en este punto y a la descripción del formato realizada anteriormente:

El primer ejemplo describe un paso de peatones de Tipo 1 con dos carriles, que no está en ángulo y que no tiene semáforo (listado 5.4):

Listing 5.4: Paso tipo1 sencillo sin semáforo.

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <topology>
3   <node id="0" lat="lat0" lon="lon0" />
4   <node id="1" lat="lat1" lon="lon1" />
5   <way id="0" >
6     <nd ref="0"/>
7     <nd ref="1"/>
8     <tag k="footway" v="crossing" />
9     <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
10    <tag k="crossing_ref" v="Tipo1"/>
11    <tag k="lanes_number" v="2"/>
12    <tag k="angular_crossing" v="no"/>
13    <tag k="roundabout" v="no"/>
14  </way>
15 </topology>

```

como se puede apreciar, hay información que es redundante y que se podría eliminar; pero, precisamente para poder comentarlo, se ha mantenido. Esta información es, por ejemplo, la referente a la presencia de una rotonda, al tratarse de un paso de Tipo 1, no puede tener rotonda, con lo cual, el atributo *roundabout* se podría haber eliminado perfectamente.

El segundo ejemplo describe un paso de peatones que, si bien utiliza un semáforo sonoro, su uso no va a ser muy aconsejable, ya que se trata de un cruce de Tipo 3 con 4 carriles, que está en ángulo y próximo a una rotonda (listado 5.5):

Listing 5.5: Paso tipo3 complejo con semáforo sonoro.

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <topology>
3   <node id="0" lat="lat0" lon="lon0" />
4   <node id="1" lat="lat1" lon="lon1" />
5   <way id="0" >
6     <nd ref="0"/>
7     <nd ref="1"/>
8     <tag k="footway" v="crossing" />
9     <tag k="crossing" v="traffic_signals" />
10    <tag k="traffic_signals:sound" v="yes" />
11    <tag k="crossing_ref" v="Tipo3"/>
12    <tag k="lanes_number" v="4"/>
13    <tag k="angular_crossing" v="yes"/>
14    <tag k="roundabout" v="yes"/>
15  </way>
16 </topology>

```

Estos dos ejemplos son suficientemente ilustrativos para ver cómo describir cualquier otro tipo de cruce. Se debe tener en cuenta que, cuando se parseen los xml para representar los cruces, éstos harán comprobaciones. Por ejemplo se comprobará que un cruce de Tipo 1 no tenga a la vez descrita la característica que diga que se coloca al lado de una rotonda, ya que esto no es posible, según lo comentado anteriormente.

5.4. Modelado de vías peatonales

Además de los pasos de peatones, el usuario va a circular continuamente por vías destinadas a su tránsito, con lo cual, aparte de la sección anterior, que requería un tratamiento especial, resulta necesario hacer una sección más general para el tránsito del usuario por vías destinadas a su tránsito.

En principio, puede haber una gran cantidad de vías peatonales con pavimentos de distintas formas, que pueden hacer que el tránsito sea más fácil o más complicado, pero para el presente proyecto, se va a obviar este factor que, en un futuro, sí se podría tener en cuenta. para este trabajo nos vamos a centrar en otros factores (dirigidos a la morfología de las vías) o en los elementos que podrían suponer un obstáculo para los peatones.

Al hablar con personas con problemas de visión, se pone sobre la mesa una serie de situaciones que, a priori, no nos habíamos planteado que pudieran suponer un problema. Asimismo, hay otras situaciones que a cualquiera le pueden resultar obvias, que pueden ser un problema para los peatones con dichas características.

El primer elemento en el que se piensa son los obstáculos que puede haber en la vía, sea cual sea su naturaleza. Sin embargo, si se atiende a lo que los peatones indican, se puede advertir que existe una gran variedad de elementos de diversa naturaleza y ante los cuales, es posible tener que reaccionar de diferentes formas. Según la información que se ha podido recabar, cabe destacar, principalmente, tres tipos de obstáculos: por una parte, los obstáculos grandes; por otra parte, los obstáculos pequeños y, finalmente, los que no se apoyan directamente en el suelo o que sobresalen a cierta altura.

Los denominados elementos grandes suelen ser fáciles de reconocer y, por tanto, no resultan demasiado molestos a la hora de transitar. Entre dichos elementos, se encuentran, por ejemplo: los quioscos de prensa, los puestos de venta de helados, las marquesinas de autobús, etc.

Los elementos pequeños o estrechos son más difíciles de captar. Entre ellos, cabe subrayar las bocas para incendios, las señales de tráfico en medio de la acera o elementos similares. Resulta más complicado intuir este tipo de elementos y, en el caso de las señales de tráfico, pueden llegar a ser peligrosos si tienen placas que se encuentren a la altura de la cara, lo cual nos lleva al tercer tipo de elementos.

Elementos que no se apoyan en el suelo o que sobresalen a cierta altura: estos elementos se pueden perder cuando una persona ciega intenta localizarlos mediante su bastón y, al igual que la señal de tráfico, podrían llegar a ser peligrosos. En muchas ocasiones, se debería tratar de evitar estos elementos y en cualquier caso, deberían ser anunciados con anterioridad.

Además de elementos puntuales como los comentados anteriormente, puede haber tramos de la vía que tengan una dificultad asociada a los elementos que en ella se encuentran. Por ejemplo: tramos de vía más o menos estrechos que tengan árboles a lo largo de toda su longitud (en este caso, la vía podría tener un factor de dificultad asociado proporcional a la distancia de la misma), o los establecimientos que invaden las vías de tránsito público con elementos como carteles o terrazas que estrechan en muchos casos las vías de tránsito.

Otro factor que tener en cuenta es la forma de la calle. Este factor no es crucial, pero sí es importante advertir al usuario de estas características. Por ejemplo: cuando un usuario está caminando hacia una rotonda, en ocasiones, el paso de una calle a la perpendicular se hace de una forma tan suave, que el peatón no es capaz de percibirlo. En estos casos, tal vez sea necesario avisar antes de que empiece a girar de que el giro es muy leve y cuál es la cantidad total de grados, así como avisar cuándo se ha hecho el cambio de calle, en el momento en el que se haya superado la mitad de dicho ángulo.

5.4.1. Diseño de una métrica para las vías peatonales

En este punto, se va a explicar cual es la métrica que se aplicará sobre las vías peatonales, al igual que se hizo anteriormente con los pasos de peatones. Sin embargo, estas vías son, a priori, más simples de diseñar, ya que, en este caso, no se tendrá en cuenta la morfología de las calles en cuanto a su forma geométrica, pero sí se tendrá en cuenta características de la vía o características que ocurran en un lugar en particular.

Puesto que, como ya se ha mencionado con anterioridad, se va a utilizar un algoritmo de búsqueda de caminos basado en el algoritmo de A*, habrá que buscar una forma de dar un peso a cada arista del camino, la cual se halla mediante el peso efectivo de la arista más el peso específico del nodo de destino.

El cálculo del peso de la arista se hará mediante una serie de componentes que, al final, serán multiplicados por la longitud en metros de dicha arista. En este caso, los factores provienen de características que se le asignen a la vía, tales como: su anchura, la presencia de obstáculos de una forma más o menos regular a lo largo de la misma, etc. A diferencia de lo que sucedía en el caso de los pasos de peatones, estos factores serán representados mediante valores continuos, en lugar de 0 y 1. Esta gradación permite dar un mayor o menor peso a una característica.

Un ejemplo ilustrativo de lo anterior podría ser la siguiente situación: supongamos que en una vía las baldosas estandard son de color gris y estas no gravan ni premian el transito por ellas, y que por otro lado las baldosas de color rojo hacen que recorrer una vía se vea multiplicado por 2, con lo que el valor de penalización que se sumaría al peso normal de caminar por una vía sería 1. En consecuencia, un metro de acera con baldosas grises tendría un peso de $1 * 1 = 1$ (el primer 1 hace referencia al peso que tenemos y el segundo 1 a que estamos recorriendo un metro). Asimismo, si se recorre un tramo de un metro con baldosas rojas, la fórmula quedaría de la siguiente forma: $(1 + (1 * 1)) * 1 = 2$ (lo cual muestra que el valor se ha visto multiplicado por 2). Pero, ¿qué sucedería si solo la mitad de las baldosas fuesen rojas? El resultado se puede ver en la siguiente fórmula: $(1 + (0,5 * 1)) * 1 = 1,5$. Lo cual permite mostrar si existe ese tipo de limitación y en qué grado.

Como se puede apreciar, no solo existe el componente que indica la medida en la que afecta el descriptor de la vía, sino que hay otro número por el que se está multiplicando el anterior, que es la gravedad que ofrece encontrarse ese tipo de obstáculo. Continuando con el ejemplo anterior: en el camino, podría haber otro tipo de baldosas que fueran más contraproducentes que las rojas y, en este caso, se podría poner que multipliquen por 2; con lo que el recorrer un metro de baldosas en el que la mitad sean rojas, un cuarto verdes y el otro cuarto grises quedarían como sigue $(1 + (0,5 * 1 + 0,25 * 2)) * 1 = (1 + (0,5 + 0,5)) * 1 = (1 + (1)) * 1 = 2$. De la misma manera, esto podría hacerse de forma hipotética para características

que premien el tránsito por una cierta vía, poniendo un valor negativo al peso de la vía.

Estos pesos de vía que se han mencionado se podrían basar en las tres categorías que se han presentado anteriormente o se podría crear una lista más o menos extensa de factores que tener en cuenta con su peso asociado. De esta forma, se podría tener tres pesos diferentes y una lista que englobe la presencia de cada característica en uno de esos grupos o, directamente, tener la lista completa, compuesta por las parejas de característica-valor.

En resumidas cuentas, el peso de una arista debido al tramo resultara de la suma del tránsito de una vía normal (valor 1) mas el valor de presencia de cada una de las características de la vía multiplicado por su factor específico de dificultad y finalmente todo ello multiplicado por la longitud de la vía.

$$E = 1 + \sum_{i=1}^n f_i * v_i \quad (5.10)$$

Por su parte, los nodos serán unas componentes mucho más sencillas para el cálculo del peso de cada segmento. En primer lugar, los nodos son puntuales y no les afecta la longitud de la ruta, con lo cual, no habrá que hacerlos directamente proporcionales a ésta, sino que agregarán un valor independiente de la longitud al peso total. En segundo lugar, el cálculo de su peso específico se realizará mediante la suma de todos los descriptores asociados al nodo.

En el caso del nodo, no tiene demasiado sentido expresar en qué medida está presente la característica que se quiere mostrar, ya que los nodos representarán, a lo sumo, la presencia de dicha característica, con lo cual, sus valores volverán a ser 0 o 1, en este caso. Para el peso asociado a la característica concreta, surge la misma circunstancia que en el caso anterior, por tanto, se podrá usar cualquiera de las dos aproximaciones (pesos por grupos o individualizados a la característica).

$$N = \sum_{i=0}^n f_i * v_i \quad (5.11)$$

Teniendo en cuenta las fórmulas extraídas anteriormente (tanto para los nodos como para las aristas), la fórmula que definirá el peso total para un tramo con respecto a su longitud vendrá definida con la siguiente ecuación:

$$v = \left(\sum_{i=0}^x (E_i * m_i) \right) + \left(\sum_{j=0}^y N_j \right) \quad (5.12)$$

Esta fórmula es mucho más sencilla que en el caso de los pasos de peatones, si bien es extensible a la posibilidad de tener una gran cantidad de características definidas con sus pesos respectivos.

5.4.2. Representación de vías peatonales

La forma de representar las vías peatonales va a ser mucho más sencilla si se compara con el modo de representar los pasos de peatones. En un principio, como nos vamos a ceñir a un entorno urbano, se utilizará simplemente un único tipo de vías, que harán que la medida del peso se incremente 1 a 1 con la distancia en condiciones óptimas o, lo que es lo mismo, si se reserva una característica f_x y un valor v_x al tipo de vía, su producto sería igual a 0. Dicho valor podría ser distinto en otros casos que no se van a contemplar, como por ejemplo, caminos o rutas por la naturaleza, que, supuestamente, podrían tener una mayor dificultad y para agregarlos tan solo habría que añadir un factor de dificultad al igual que se haría con cualquier obstáculo.

Por otra parte, para representar las diversas características, se podría utilizar una notación similar a la que se usaba en el apartado anterior para señalar los semáforos con sonido (*traffic_signals:sound*), pero, en este caso, se sustituiría la palabra *traffic_signals* por *footway_feature* y la palabra *sound* por la que corresponda para la característica que se desee describir.

Esta notación se puede utilizar para ambos elementos (nodos y aristas), aunque es muy probable que los conjuntos que afecten a ambos tipos sean distintos. La mayor diferencia que se puede apreciar a la hora de ver características similares en los dos tipos de elementos será que, en el caso de las aristas, el valor que van a tener estos atributos será del tipo real entre 0 y 1, mientras que en el caso de los nodos, los posibles valores serán únicamente *yes/no*.

Atendiendo a lo anterior, el peatón se puede encontrar con elementos como papeleras colgantes o fuentes situadas en una ubicación puntual, con lo cual, se representarán de la siguiente forma:

- *footway_feature:hanging_trash_bin* = *yes/no*
- *footway_feature:fountain* = *yes/no*

Por otra parte, existen características que afectan a vías, como la anchura de la vía, la presencia de terrazas de locales a lo largo de la misma o el hecho de que se trate de una vía muy transitada. En este caso, se podrá encontrar las siguientes características:

- *footway_feature:wide* = $[0,1]$
- *footway_feature:narrow* = $[0,1]$
- *footway_feature:parlor* = $[0,1]$
- *footway_feature:crowded* = $[0,1]$

Por último, cabría la posibilidad de que el elemento que se desea representar afecte a elementos puntuales, ya sea porque está situado solo en un punto o porque, debido a su ubicación, merece la pena expresar explícitamente dónde se encuentra o que aparece en repetidas ocasiones a lo largo de una vía. Casos que destacar a modo de ejemplo la presencia de árboles, los agujeros en el pavimento o los bancos, en cuyo caso, se podrían representar de las dos formas siguientes:

- *footway_feature:hole* = *yes/no* / $[0,1]$
- *footway_feature:tree* = *yes/no* / $[0,1]$
- *footway_feature:bench* = *yes/no* / $[0,1]$

Por todo lo anterior, se puede asumir que la forma en que se va a describir los nodos y las aristas va a ser muy sencilla y un poco libre, en cuanto a que se puede mapear cualquier cosa que se desee. De hecho, si se ha tenido en cuenta en la aplicación ese tipo de elemento, se tendrá en cuenta y si no se ha contemplado en la aplicación, será como si no afectase a la vía.

Cabe tener en cuenta que estas características en todos los casos son opcionales y en el caso de no estar presentes en el nodo o arista, se presupondrá que no están presentes, esto es, su valor será 0 o “no” según convenga para el tipo de elemento con el que se esté trabajando.

Por otra parte, las vías peatonales no solo van a tener que mostrar características que influyan de forma positiva o negativa en el tránsito de los transeúntes, sino que también cabe la posibilidad de que presenten atributos informativos que, a la hora de generar las instrucciones de una ruta, ayuden a ser más precisos al comunicar lo que se está haciendo.

A modo de ejemplo, cabe destacar las vías que se trazan próximas a una rotonda. Si la curva descrita por la calle se hace de forma muy paulatina, es posible que el peatón no sea capaz de identificar el giro y crea que se sigue desplazando por la misma vía. Esto se puede calcular de forma algorítmica, observando la morfología de la vía y atendiendo a que hay segmentos de vía más o menos cortos que van describiendo un giro por medio de varios ángulos menores al que finalmente se va a describir. Sin embargo, esto se puede agilizar, como se hacía en los pasos de peatones, mediante el atributo *roundabout*, que ya aparecía cuando se hacía referencia a los pasos de tipo 2 y 3.

Del mismo modo, también se podrían marcar establecimientos o locales que sean fácilmente identificables con un atributo que ayude a identificarlos en el plano y comunicárselo al peatón si fuese necesario, con el fin de darle más información acerca de la ruta.

A continuación, se van a exponer una serie de ejemplos sobre cómo quedarían mapeadas unas situaciones determinadas en el formato XML anteriormente descrito:

En primer lugar, se va a describir una calle que va de un Punto 0 a un Punto 2 pasando por un Punto 1, en el que hay un obstáculo que, en este caso, será un banco (Listado 5.8):

Listing 5.6: Ejemplo de mapeado pasando por un obstáculo en el tránsito.

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <topology>
3   <node id="0" lat="lat0" lon="lon0" />
4   <node id="1" lat="lat1" lon="lon1" >
5     <tag k="footway_feature:bench" v="yes" />
6   </node>
7   <node id="2" lat="lat2" lon="lon2" />
8   <way id="0" >
9     <nd ref="0"/>
10    <nd ref="1"/>
11    <nd ref="2"/>
12    <tag k="highway" v="footway" />
13  </way>
14 </topology>

```

Aquí se puede ver perfectamente como es el nodo el que posee la información referente al banco en la cual se informa de que efectivamente hay un banco en dicho nodo.

En el siguiente ejemplo, se va a suponer que, además de lo anterior, el tramo entre el Punto 1 y el 2 contiene una terraza que utiliza la mitad de la vía (Listado 5.8):

Listing 5.7: Ejemplo de mapeado pasando por un obstáculo puntual y otro de arista en el tránsito.

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <topology>
3   <node id="0" lat="lat0" lon="lon0" />
4   <node id="1" lat="lat1" lon="lon1" >
5     <tag k="footway_feature:bench" v="yes" />
6   </node>
7   <node id="2" lat="lat2" lon="lon2" />
8   <way id="0" >
9     <nd ref="0"/>
10    <nd ref="1"/>
11    <tag k="highway" v="footway" />
12  </way>
13  <way id="1" >
14    <nd ref="1"/>
15    <nd ref="2"/>
16    <tag k="highway" v="footway" />
17    <tag k="footway_feature:parlor" v="0,5" />
18  </way>
19 </topology>

```

Al igual que en el ejemplo anterior se puede ver como el obstáculo puntual sigue presente en el nodo afectado, pero también se puede ver como además,

se ha agregado una característica al camino que une el punto 1 con el 2 indicando la fracción de camino que ocupa.

Por último, se va a mostrar una alternativa al XML presentado anteriormente (Listado 5.8):

Listing 5.8: Ejemplo de mapeado pasando por un obstáculo puntual y otro de arista en el tránsito (alternativa).

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <topology>
3   <node id="0" lat="lat0" lon="lon0" />
4   <node id="1" lat="lat1" lon="lon1" >
5     <tag k="footway_feature:bench" v="yes" />
6   </node>
7   <node id="2" lat="lat2" lon="lon2" />
8   <way id="0" >
9     <nd ref="0"/>
10    <nd ref="1"/>
11    <nd ref="2"/>
12    <tag k="highway" v="footway" />
13  </way>
14  <way id="1" >
15    <nd ref="1"/>
16    <nd ref="2"/>
17    <tag k="footway_feature:parlor" v="0,5" />
18  </way>
19 </topology>
```

Como se puede apreciar en este XML, el primero de los caminos engloba los 3 nodos y el segundo ha perdido una de sus características (*highway=footway*), que, en este caso, heredará del camino anterior, ya que comparte dos nodos contiguos (el 1 y el 2). De esta forma, por ejemplo, se consigue no tener que poner en todas las aristas los nombres de las calles a las que pertenece, ya que esta información se puede extraer de otras vías que también engloben dichos tramos.

5.5. Modelado y representación de vías destinadas al tráfico

En un primer momento, las vías reservadas al tránsito de vehículos no son fundamentales para este proyecto. Sin embargo, no está de más disponer de dicha información, con el fin de contar con información adicional que sirva de ayuda para captar características de la zona por la que se va a transitar.

Entre otras cosas, de las vías para el tránsito de vehículos, se puede extraer información útil, como el ancho (en número de carriles) de la vía que transcurre paralelamente al peatón, el sentido en el que circula el tráfico, etc. En apartados anteriores, ya se comentó que esta información puede ser de importancia en ciertas situaciones, como por ejemplo, a la hora de tratar

los pasos de peatones.

Sin embargo, como ya se ha comentado, también es posible mapear esta información en los nodos que resulten de interés (como era el caso de los ya citados pasos de peatones). La forma geométrica de las vías de transporte para automóviles también sirve para identificar la presencia de rotondas o similares, que, al igual que el número de carriles, se puede especificar en la propia vía.

Por tanto, se puede sacar la conclusión de que la información de este tipo de vías no es fundamental en muchos casos, ya que es susceptible de venir mapeada en las propias vías peatonales (con lo cual, en muchos casos, no sería necesario mapearlas) o incluso se podría extraer de servicios ya existentes, como las bases de datos de OSM o de cualquier otro proveedor de mapas, como Google Maps, Bing Maps o Here, que proporcionan APIs específicas para pedir información sobre regiones.

5.6. Metodología para la descripción de un área

Todo lo que se ha descrito hasta ahora es bastante útil, ya que ofrece información muy valiosa acerca de numerosos factores importantes a la hora de diseñar las vías públicas y acerca de como guiar de forma segura a personas ciegas o con baja visión. Tal y como se puede apreciar se tiene en cuenta factores que, en muchos casos, nunca se habían contemplado, debido al desconocimiento sobre el hecho de que éstos fuesen cruciales para personas que tienen baja visión o que carecen de ella.

Sin embargo, la información que se ha podido extraer no serviría de nada si no se pudiese implementar en la vida real. Para dicha implementación, resulta necesario implantar una metodología que facilite la adquisición de la información para el diseño de la topología de las vías peatonales como una metodología que ayude igualmente a “decorar” los nodos y aristas con la información que se requiere para crear un grafo capaz de representar una topología urbana con la información y las características precisas para calcular vías seguras para peatones.

Como se irá observando a continuación, esta metodología será un proceso incremental, en el que se irá adquiriendo datos (inicialmente muy generales) que, poco a poco, se irán completando con más información, hasta constituir la red de vías completamente conectadas y marcadas.

Para la creación de los nodos que compondrán la topología en cualquiera de las fases del proceso, será necesario conocer las coordenadas geográficas de éstos. En otras épocas, la posibilidad de adquirir estas coordenadas geográficas no estaría al alcance de cualquiera y tan solo las personas pertenecientes a ciertas clases podrían tener acceso a ella. Hoy día, esto ha cambiado radicalmente y se puede acceder a dicha información de numerosas formas, ya sea utilizando servicios de mapas que, en la actualidad, ya disponen de reso-

luciones suficientemente importantes como para ser de utilidad, o haciendo uso de sistemas GPS con distintas precisiones, que ofrecen automáticamente las coordenadas geográficas en las que nos encontramos.

5.6.1. Primera fase: Adquisición de los puntos clave de la topología

Lo primero que se necesita es una red básica con la que comenzar a trabajar. Esta red básica permitirá llegar prácticamente a cualquier lugar de la vía pública que guarde relación directa con una calle (que no se encuentre en el interior de una manzana). Por tanto, será un buen punto de partida para comenzar con la metodología.

En esta primera aproximación, se mapearán las vías situadas a los lados de las carreteras, tanto en manzanas como en paseos, siempre y cuando éstos estén conectados con las anteriores mediante algún tipo de paso de peatones (que también será mapeado).

Por tanto, tras este primer paso, se contará con una lista de nodos que representarán los extremos de las vías que se encuentran a los lados de las carreteras, sus intersecciones y los pasos de peatones. De este modo, si se tomasen las aristas que unen todos estos nodos que se han mapeado, se podría formar un grafo totalmente conectado, en el que ningún punto quedaría incomunicado del resto de la red.

En esta primera fase, todos los nodos serán “decorados” con la información relativa a la calle a la que pertenecen, pero no se agregarán las aristas que unen estos puntos, ya que esto se hará con posterioridad. Sin embargo, las aristas pertenecientes a los pasos de peatones sí que se agregarán junto a sus extremos (nodos que las limitan). Estas aristas no solo serán creadas, sino que también se “decorarán” con los atributos que ya se ha expuesto en el apartado dedicado a los pasos de peatones.

A continuación, se muestran varios ejemplos que ayuden a comprender cómo se debería hacer esto:

Este primer caso es el más sencillo, ya que se trata de un área formada por manzanas, en las que las intersecciones entre calles se hacen mediante el uso de ángulos (figura 5.11), que, en el mejor de los casos, serán próximos a los 90°, pero que no muestran en ningún caso un paso paulatino (en curva) de una calle a otra. En estas circunstancias, el mapeado será tan sencillo como poner un nodo en el vértice formado por las dos calles en la mitad de la acera.

Los pasos de peatones, como se podrá observar en todos los casos, se representarán con un nodo en la intersección entre la calle y el paso de peatones, colocado en la mitad del ancho del paso de peatones y la mitad de la anchura de la calle.

En el caso de las calles con un paseo central (figura 5.12), éstas no de-

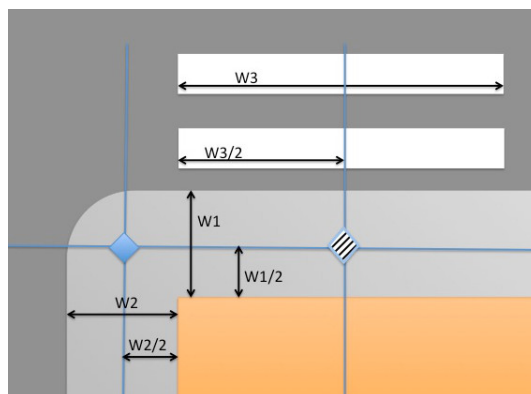


Figura 5.11: Colocación de nodos en esquinas y cruces.

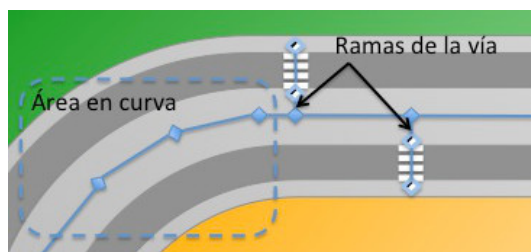


Figura 5.12: Colocación de nodos en paseos y avenidas.

berían representar ningún problema, ya que se trazarían mediante nodos colocados en el centro del bulevar, a lo largo de toda su extensión, colocando adicionalmente un nuevo nodo en cada intersección con un paso de peatones, poniendo “ramas”, si fuese necesario, hasta llegar al borde del paso (en paseos muy anchos) y también se pondrían nodos si la calle dibujase curvas para acompañarlas.

En este último caso, se trata de manzanas que forman una curva a la hora de cambiar de calle. Éstas suelen estar unidas a calles muy anchas o a intersecciones de calles, en las que hay alguna rotonda (figura 5.13). Estas calles suelen ser muy confusas, ya que la persona ciega o con baja visión podría encontrarse en la circunstancia de no apreciar correctamente el giro. Estas calles se mapearán de tal forma, que haya varios nodos a lo largo de la curva, de modo que se trate de evitar que la recta que une dos nodos contiguos se aleje más de un umbral que en este ejemplo es de una sexta parte del ancho de la vía, aunque esto podría variar según el tipo de vía de tal forma que garantice que el peatón no corra nunca ningún peligro.

Lo anteriormente comentado para las calles situadas a los lados de las carreteras es extensible a los paseos centrales que describen curvas.

Una vez se haya mapeado los nodos del área de trabajo de esta forma y cuando ya hayan sido unidos (como se muestra más adelante, sin agregar

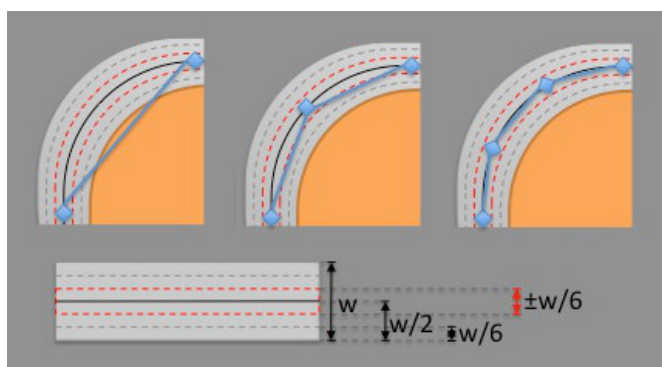


Figura 5.13: Enrutado en curva de izquierda a derecha: se sale de la vía; sobrepasa el límite de $1/6$; enrutado correcto.

ningún tipo de información a los nodos, más que los nombres de las calles), se podría calcular rutas que (utilizando únicamente las vías principales) sean óptimas en cuanto a distancia, pero que en ningún caso serán las mejores rutas en cuanto a lo que a la seguridad se refiere, ya que, en estos momentos, todavía carecen de toda la meta información que se ha tratado anteriormente, a excepción de lo relativo a los pasos de peatones.

Posiblemente, en el mejor de los casos, la información de la que disponen muchos sistemas de enrutado será similar a la que se habrá generado en este punto, salvo que, a estas alturas, tan solo se cuenta con el listado de nodos y no con las conexiones entre éstos (salvo pasos de peatones).

5.6.2. Segunda fase: Identificación de obstáculos a lo largo de las rutas

En esta fase, se incorporarán a la lista de nodos todos los obstáculos que podrían aparecer a lo largo de las vías primarias anteriormente mapeadas. Por tanto, en este apartado, solo se agregarán estos nodos al mapa y añadiéndoles tanto la información de la calle a la que pertenecen (del mismo modo en que se hizo en el apartado anterior), como la información referente al propio obstáculo (como ya se mencionó con anterioridad).

5.6.3. Tercera fase: Adquisición de puntos de la topología secundaria

Esta tercera fase es similar a la primera, pero, en este caso, se irán creando los nodos necesarios para mapear las zonas internas a las manzanas. Tras este proceso, se podrá disponer de rutas alternativas, más allá de la opción de ir recorriendo las calles, pegado a las carreteras y, en algunos casos, se conseguirán rutas óptimas, tanto en lo que respecta a la longitud, como en lo que se refiere a la seguridad (cuando se haya localizado y mapeado todos

los obstáculos).

En esta fase, se irá añadiendo nodos que nos permitan recorrer todas las calles internas, al igual que los nodos que nos permitan conectar estas calles internas con las calles adscritas a las vías principales que ya habían sido mapeadas en la primera fase.

Al igual que se hacía en la primera fase, aquí también se “decorarán” los nodos con la información sobre las calles y, con el fin de ser lo más precisos posible, al igual que se hacía en aquel momento, aquí también se dibujará en el centro de la vía. Todo lo que se comentó acerca de la descripción de curvas, también se tendrá en cuenta en esta fase, de la misma manera en que se hacía allí.

5.6.4. Cuarta fase: Identificación de obstáculos a lo largo de las vías secundarias

En la cuarta fase, se va a proceder como se hizo en la segunda, de modo que se van a incorporar a la lista de nodos todos los obstáculos que se puedan encontrar a lo largo de las vías secundarias anteriormente mapeadas.

Por tanto, en este apartado, tan solo se añadirán estos nodos al mapa y se les agregará tanto la información de la calle a la que pertenecen (de la misma forma en que se hizo en el apartado anterior), como la información referente al propio obstáculo (del mismo modo en que se hizo en la segunda fase).

5.6.5. Quinta fase: Completado de la topología con las rutas entre nodos

Se trata de la última fase del proceso de mapeado. Una vez finalizada, ya se dispondrá de un grafo totalmente conectado y con los atributos necesarios para generar rutas seguras.

En esta fase, se debe generar las aristas asociadas a cada par de nodos contiguos que estén conectados por una vía real. A estas aristas, se les añadirán todos los atributos necesarios para su enrutado y todos los atributos necesarios para describir las características de las vías (como se especificó en apartados anteriores).

Se ha identificado este paso como el último, pero se podría ir intercalando cada vez que se agreguen nuevos nodos; con lo cual, se irían obteniendo grafos completos de forma incremental. No obstante, esta práctica no sería muy aconsejable si se deseara mapear el área completamente, de una forma más o menos seguida, ya que la adquisición de nuevos nodos podría obligar a eliminar aristas para agregar posteriormente dos o más que reemplacen a la anterior (si se ha interpuesto un nodo en medio del camino).

Como ya se ha indicado, tras finalizar este punto se habrá descrito toda un área, con todo el detalle necesario para el cálculo de rutas seguras.

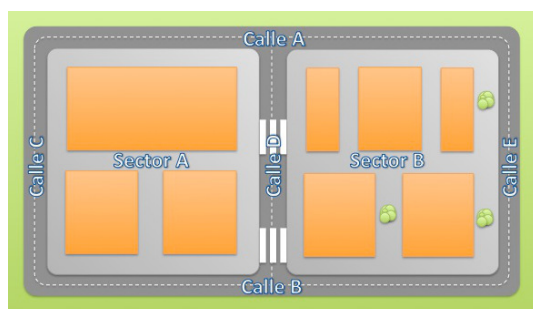


Figura 5.14: Esquema del área a mapear.

5.6.6. Ejemplo de mapeado siguiendo la metodología

Una vez establecida la metodología que seguir para mapear áreas urbanas, con el fin de ilustrar de una forma más clara cómo se debe realizar, se mostrará un ejemplo, en el que se utilizará un área formada por dos manzanas, que serán mapeadas. En la figura 5.14, se puede observar un esquema en el que se ve la zona que se desea mapear.

Como ya se ha mencionado, el primer paso consiste en identificar pasos de peatones y vías principales e ir agregándolos al archivo xml correspondiente (figura 5.15 izquierda). En este caso, las líneas relativas a esta sección son las coloreadas en azul en el listado 5.9.

A continuación, se marcarán los obstáculos que se encuentran en las vías anteriormente descritas y se agregarán nuevos nodos donde sea necesario (figura 5.15 derecha). En este caso, son los que están representados en color rojo.

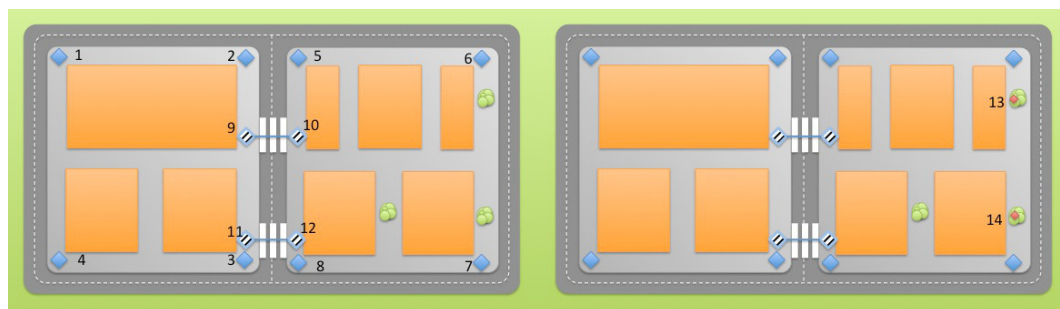


Figura 5.15: Nodos identificados en Primera fase (Izquierda) y Segunda fase (Derecha).

El siguiente paso es identificar las rutas secundarias que recorren el interior de las manzanas (figura 5.16 izquierda). Para las cuales, se ha utilizado el color verde.

A continuación, se añadirán los nodos de obstáculos que se encuentren en

estas vías secundarias (figura 5.16 derecha), líneas que se han representado con el color naranja.

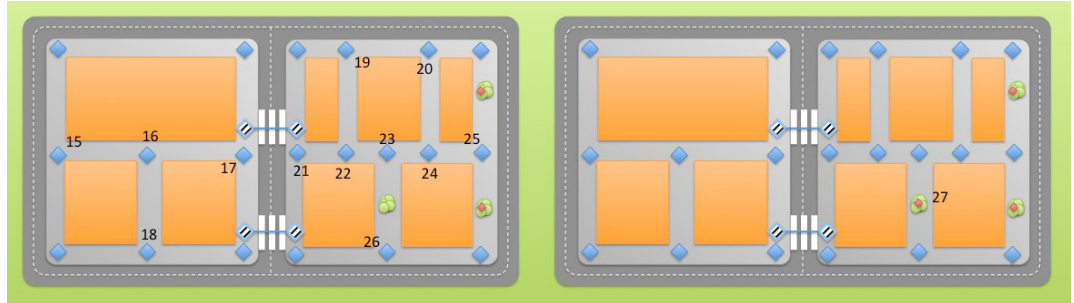


Figura 5.16: Nodos identificados en Tercera fase (Izquierda) y Cuarta fase (Derecha).

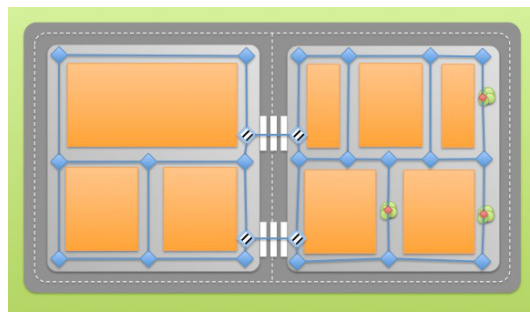


Figura 5.17: Área mapeada con nodos y aristas.

Finalmente, se agregarán todas las aristas que forman la manzana y el resultado queda como se puede apreciar en la figura 5.17 (en el listado, está representado con el color morado):

Tras todo este proceso, se habrá creado un xml con toda la información de nodos y aristas y éste quedará como se expone a continuación (Listado 5.9):

Listing 5.9: Listado de ejemplo

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <topology>
3   <node id="1" lat="0" lon="0" />
4   <node id="2" lat="0" lon="10" />
5   <node id="3" lat="10" lon="10" />
6   <node id="4" lat="10" lon="0" />
7   <node id="5" lat="0" lon="13" />
8   <node id="6" lat="0" lon="23" />
9   <node id="7" lat="10" lon="23" />
10  <node id="8" lat="10" lon="13" />
11  <node id="9" lat="4" lon="10" />
```

```

12 <node id="10" lat="4" lon="13" />
13 <node id="11" lat="9" lon="10" />
14 <node id="12" lat="9" lon="13" />
15 <node id="13" lat="2,5" lon="23" >
16   <tag k="footway_feature:tree" v="yes" />
17 </node>
18 <node id="14" lat="7,5" lon="23" >
19   <tag k="footway_feature:tree" v="yes" />
20 </node>
21 <node id="15" lat="5" lon="2,5" />
22 <node id="16" lat="5" lon="5" />
23 <node id="17" lat="5" lon="7,5" />
24 <node id="18" lat="10" lon="5" />
25 <node id="19" lat="0" lon="15,5" />
26 <node id="20" lat="0" lon="20,5" />
27 <node id="21" lat="5" lon="13" />
28 <node id="22" lat="5" lon="15,5" />
29 <node id="23" lat="5" lon="18" />
30 <node id="24" lat="5" lon="20,5" />
31 <node id="25" lat="5" lon="23" />
32 <node id="26" lat="10" lon="18" />
33 <node id="27" lat="7,5" lon="18" />
34 <way id="0" >
35   <nd ref="9"/>
36   <nd ref="10"/>
37   <tag k="footway" v="crossing" />
38   <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
39   <tag k="crossing_ref" v="Tipol"/>
40   <tag k="lanes_number" v="2"/>
41   <tag k="angular_crossing" v="no"/>
42   <tag k="roundabout" v="no"/>
43 </way>
44 <way id="1" >
45   <nd ref="11"/>
46   <nd ref="12"/>
47   <tag k="footway" v="crossing" />
48   <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
49   <tag k="crossing_ref" v="Tipo3"/>
50   <tag k="lanes_number" v="2"/>
51   <tag k="angular_crossing" v="no"/>
52   <tag k="roundabout" v="no"/>
53 </way>
54 <way id="2" >
55   <nd ref="1"/>
56   <nd ref="2"/>
57   <tag k="name" v="Calle A" />
58 </way>
59 <way id="3" >
60   <nd ref="5"/>
61   <nd ref="19"/>
62   <nd ref="20"/>
63   <nd ref="6"/>
64   <tag k="name" v="Calle A" />
65 </way>

```

```

66 <way id="4" >
67   <nd ref="3" />
68   <nd ref="18" />
69   <nd ref="4" />
70   <tag k="name" v="Calle B" />
71 </way>
72 <way id="5" >
73   <nd ref="7" />
74   <nd ref="26" />
75   <nd ref="8" />
76   <tag k="name" v="Calle B" />
77 </way>
78 <way id="6" >
79   <nd ref="1" />
80   <nd ref="15" />
81   <nd ref="4" />
82   <tag k="name" v="Calle C" />
83 </way>
84 </way>
85 <way id="7" >
86   <nd ref="2" />
87   <nd ref="9" />
88   <nd ref="17" />
89   <nd ref="11" />
90   <nd ref="3" />
91   <tag k="name" v="Calle D" />
92 </way>
93 </way>
94 <way id="8" >
95   <nd ref="5" />
96   <nd ref="10" />
97   <nd ref="21" />
98   <nd ref="12" />
99   <nd ref="8" />
100   <tag k="name" v="Calle D" />
101 </way>
102 <way id="9" >
103   <nd ref="6" />
104   <nd ref="13" />
105   <nd ref="25" />
106   <nd ref="14" />
107   <nd ref="7" />
108   <tag k="name" v="Calle E" />
109 </way>
110 <way id="10" >
111   <nd ref="15" />
112   <nd ref="16" />
113   <nd ref="17" />
114   <tag k="name" v="Sector 1" />
115 </way>
116 <way id="11" >
117   <nd ref="16" />
118   <nd ref="18" />
119   <tag k="name" v="Sector 1" />

```

```

120 </way>
121 <way id="12" >
122   <nd ref="21" />
123   <nd ref="22" />
124   <nd ref="23" />
125   <nd ref="24" />
126   <nd ref="25" />
127   <tag k="name" v="Sector 2" />
128 </way>
129 <way id="13" >
130   <nd ref="19" />
131   <nd ref="22" />
132   <tag k="name" v="Sector 2" />
133 </way>
134 <way id="14" >
135   <nd ref="20" />
136   <nd ref="24" />
137   <tag k="name" v="Sector 2" />
138 </way>
139 <way id="15" >
140   <nd ref="23" />
141   <nd ref="27" />
142   <nd ref="26" />
143   <tag k="name" v="Sector 2" />
144 </way>
145 </topology>

```

Supongamos ahora que, al plano anterior, se le añade una terraza desplegada por un establecimiento entre los nodos 15 y 16 (figura 5.18). Dicha terraza ocuparía un 60 % de la vía reservada al tránsito de peatones. Para representarla, tan solo habría que añadir una vía a la colección de vías que contenía el xml anterior. Esta nueva entrada se debería hacer en el cuarto paso de la metodología: se agregaría dicha ruta con la decoración pertinente, pero, como se puede apreciar, esta información adicional también se puede añadir a posteriori. La vía que habría que agregar quedaría representada en el xml tal y como se puede ver en el listado 5.10.

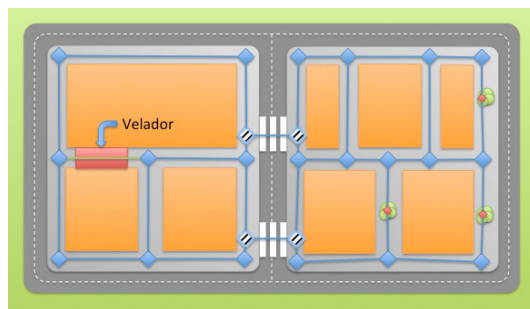


Figura 5.18: Agregando un velador al área mapeada.

Listing 5.10: Agregando un velador al listado

```
1 <way id="16" >  
2   <nd ref="15"/>  
3   <nd ref="16"/>  
4   <tag k="footway_feature:parlor" v="0,6" />  
5 </way>
```

Con todo ello, la nueva situación quedaría totalmente mapeada.

Capítulo 6

Validación de las métricas y la metodología para la creación de rutas seguras

RESUMEN: Este capítulo está destinado a confirmar el comportamiento tanto de la metodología creada en el capítulo anterior como la métrica diseñada. Para ello, se verá cómo se ha creado un prototipo capaz de implementar un sistema capaz de reproducir el comportamiento deseado, que, con unas simples modificaciones, se utilizará posteriormente para crear simulaciones que nos ayuden a validar, en primer lugar, la corrección de los razonamientos y resultados utilizados en el diseño de las métricas de los pasos de peatones y, en segundo lugar, el correcto funcionamiento de las métricas de los obstáculos, mostrando que el sistema ha sido diseñado correctamente y que ofrece unos resultados acordes con lo que se buscaba.

6.1. Creación de un prototipo para validar la métrica y la metodología

Una vez alcanzado este punto, en el que ya tenemos un desarrollo teórico, el siguiente paso es intentar llevarlo a cabo para demostrar que se trata de algo factible y comprobar que los resultados que se obtienen son válidos.

Para realizar este prototipo, se ha optado por crear un modelo basado en un cliente y un servidor: por una parte, se tendrá el servidor (que será la parte que almacene toda la información relativa a la topología con su meta-información acerca de la accesibilidad y en la cual, también se realizará la parte de cálculo de la ruta) y, por otra parte, tendremos la parte cliente, que

será la que, efectivamente, muestre la información al usuario y desde la cual, éste podrá solicitar la información que le interese.

Para desarrollar cada uno de estos dos módulos se podría haber utilizado prácticamente cualquier lenguaje de programación, al menos en la parte de servidor, sin embargo, se ha decidido usar algún lenguaje que ofreciese gran versatilidad y que, al mismo tiempo, permitiese crear rápidamente prototipos que se puedan modificar y adaptar sin demasiado esfuerzo.

Si atendemos a los resultados de las encuestas realizadas, nos deberíamos haber decantado sin duda alguna, por un lenguaje compatible con terminales iOS, ya que son los más extendidos entre la comunidad de personas ciegas o con baja visión, aunque, poco a poco, dicha comunidad va usando cada vez más dispositivos Android, con lo cual, tendría que hacer uso de los lenguajes de programación Swift u Objective-C, que no son extensibles a otras plataformas (como Android). No obstante, con la llegada de Swift 2.0, esto podría cambiar. En el mejor de los casos, se podría utilizar la capacidad que tiene Objective-C++ para usar código C++, al igual que Android, mediante el uso de su NDK; lo cual nos proporcionaría una mayor versatilidad y un mercado más amplio.

Sin embargo, debido a la dificultad que se ha tenido para trabajar directamente con dispositivos iOS (al carecer de un dispositivo de este tipo), se decidió centrarnos, al menos de momento, en el sistema Android y seleccionar el lenguaje de programación Java, con el fin de simplificar el desarrollo y poder mantener una alta versatilidad en los módulos; de tal forma, que puedan ser ejecutados en distintos tipos de dispositivos compatibles con la JVM.

La elección de una arquitectura cliente servidor, como se puede observar en la figura 6.1, procede de la posibilidad que ésta ofrece de trabajar en movilidad mediante el cliente específico, según el dispositivo que se esté utilizando, o la posibilidad de hacer un cliente, incluso en la misma máquina que se encuentra el servidor.

Este prototipo tiene una finalidad muy clara: demostrar que este sistema crea rutas coherentes con la metodología diseñada y las métricas descritas y es capaz de comunicarlas correctamente. La primera parte está totalmente ligada a la parte del servidor del prototipo. Este prototipo, como se verá a continuación, tiene varias labores que realizar y que se han localizado en diferentes módulos (figura 6.2):

En primer lugar, cabe subrayar que la información de la topología está almacenada en archivos XML, que son fácilmente comprensibles por una persona; pero que necesitan ser representados en estructuras para poder operar con ellos y poder realizar un buen cálculo de las rutas. Para ello, el sistema contará con un módulo especializado en realizar un parseo de los archivos XML a estructuras conectadas de nodos y aristas, que sean capaces de representar el gráfico de la topología con la que se va a trabajar.

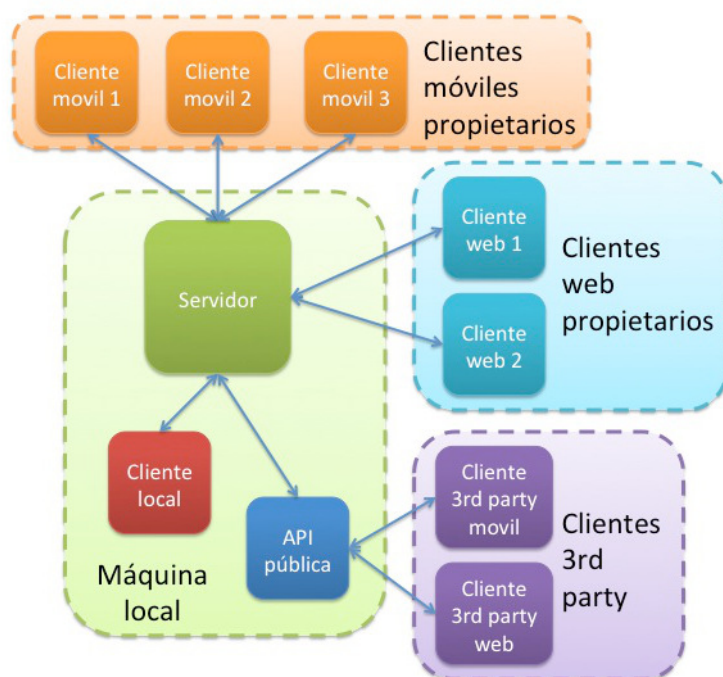


Figura 6.1: Diagrama de posibilidades de una arquitectura cliente-servidor.

Por otra parte, se ha tenido en cuenta la posibilidad de tener diferentes métricas para las posibles situaciones que puedan surgir; de modo que un usuario pueda definir sus propias métricas. Para ello, se creó un módulo capaz de parsear distintas métricas, que puede gestionar la métrica activa en cada instante.

Sobre estos dos módulos, se ha creado el módulo que se encargará de la búsqueda efectiva del mejor camino. Este módulo está basado en una implementación de A*, adaptada para poder trabajar con pesos tanto en las aristas como en los nodos (en el sistema, pueden aparecer ambos elementos, ya que se puede representar obstáculos tanto puntuales, como asociados a un tramo).

Asimismo, se ha creado un módulo capaz de localizar unívocamente los nodos de origen y de destino, a partir de cadenas de texto, para identificar las diferentes direcciones introducidas por el usuario.

Por último, existe un módulo que comunicará este módulo con el cliente, que realizará las consultas. Tras analizar dichas consultas, se calculará las rutas y se devolverá la ruta resultante.

En el lado del cliente, hay simplemente una capa capaz de comunicar con la capa de comunicación del servidor, así como un módulo que ayuda a describir el punto en el que se encuentra el usuario y el punto al que éste desea llegar y otro módulo que almacena la ruta por la que se moverá el

Estructura modular del servidor

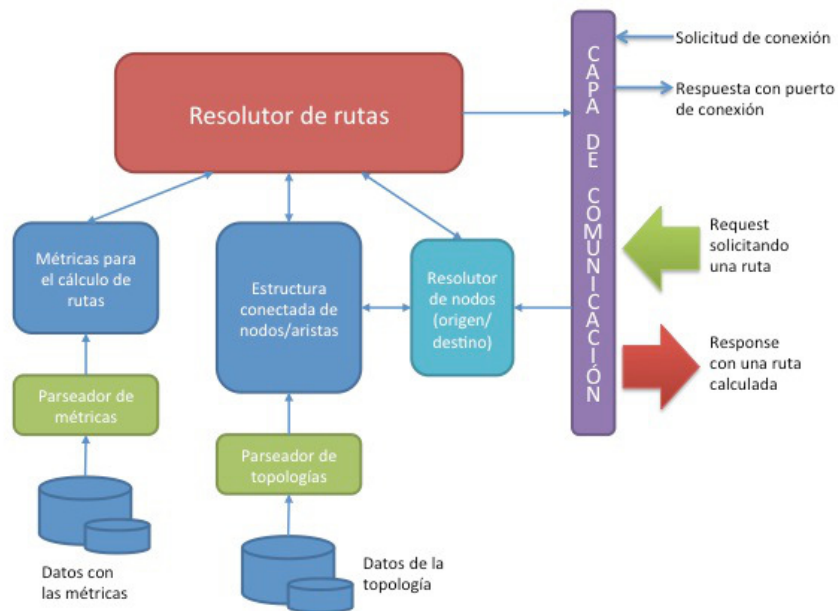


Figura 6.2: Diagrama de los módulos del servidor.

usuario.

El resto de módulos que pueden estar presentes en el cliente son específicos de la plataforma. En el caso de la aplicación, se ha estado trabajando con un módulo adicional que facilitase la interacción del usuario con el sistema, sin necesidad de acceder al dispositivo físicamente, sino simplemente haciendo uso de las capacidades del sistema operativo Android para el reconocimiento de voz.

Una vez terminado el prototipo, con el fin de comprobar si el sistema funcionaba correctamente, se introdujo la topología del ejemplo que se vio en el capítulo anterior y se calcularon una serie de rutas para confirmar que, efectivamente, se generaban rutas válidas entre un punto de origen y un punto de destino.

Se probaron dos interfaces diferentes para consultar al usuario por una ruta: la primera simplemente pedía al usuario el identificador del nodo de origen y el de destino para calcular la ruta entre dichos puntos; La segunda interfaz era algo más compleja y calculaba rutas entre intersecciones de calles; para lo cual, se servía de una serie de combo boxes que enumeraban las calles del mapa y, cuando ya se había elegido una, ofrecía las calles con las que ésta se cruzaba. Como cabe esperar, dicha información se calculaba en el servidor. Además, los dos tipos de interfaz disponían de un botón mediante el cual, el cliente enviaba al servidor una nueva configuración de pesos para los diferentes tipos de obstáculos, de forma que el servidor tuviese las preferencias del cliente a la hora de calcular la ruta solicitada.

Posteriormente, como se observará en el punto siguiente, se creo otro plano más complejo que evaluase realmente las rutas, con el fin de comprobar que el sistema generaba rutas válidas y, además, que éstas eran también rutas seguras, conforme al método diseñado.

6.2. Tests de evaluación del método y la métrica

Una vez creada la herramienta para poder probar la metodología y la métrica creadas, el siguiente paso consiste en idear unos casos para probarla. Para ello, en los siguientes puntos, se expondrán las diversas situaciones que se han diseñado para evaluar el sistema. Además, en estas secciones, se podrá observar cómo se han ejecutado dichos tests y cuáles han sido los resultados obtenidos. Asimismo, se comentará la forma en que éstos validan el método diseñado.

Cabe mencionar que, a la aplicación que se expuso en el punto anterior, se le añadieron unas funciones muy simples que sirviesen para introducir los casos de test de forma automática, para no tener que ejecutar de uno en uno todos los tests que se han planteado (lo cual habría resultado imposible en algunos casos).

Este código adicional que se introdujo en el servidor de la aplicación

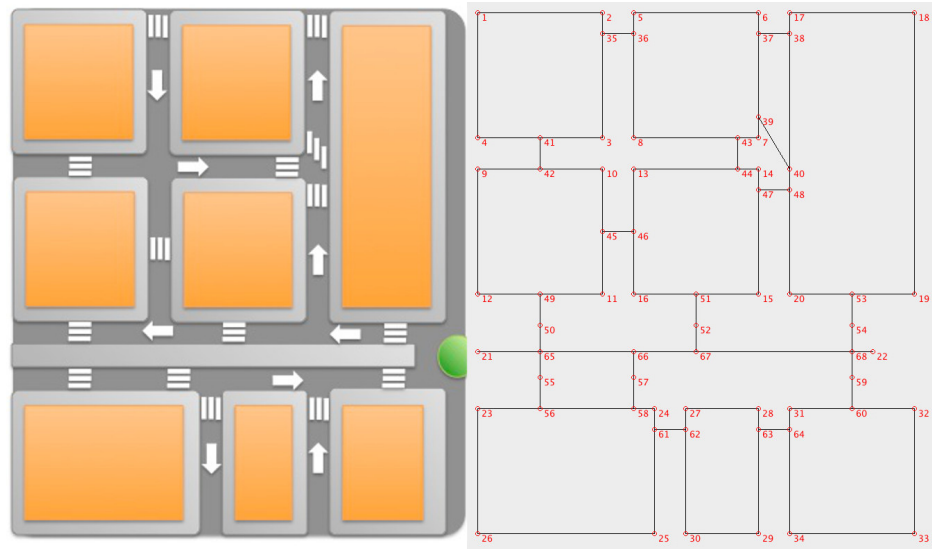


Figura 6.3: Mapa y representación del area de trabajo.

también permitió obtener las trazas de las diferentes ejecuciones, para su posterior análisis.

6.2.1. Diseño de test (validación pasos de peatones)

En primer lugar, se decidió crear un mapa algo más grande que los que se habían utilizado en las versiones anteriores, con múltiples pasos de peatones y diferentes situaciones como las que se ha visto en los apartados anteriores.

El área que se diseñó es la que se puede observar en la figura 6.3. A la izquierda, una imagen en la que se representa las carreteras, aceras y pasos de peatones; y a la derecha, la representación con la que se ha trabajado, formada por nodos y aristas.

La forma en la que se ha decidido hacer las pruebas para este plano es crear todas las combinaciones posibles de origen y destino y, con éstas, calcular las rutas para un sistema que no tiene en cuenta nada más que la distancia entre nodos y, por otra parte, para el sistema que utiliza nuestros pesos y métricas para los pasos de peatones.

Una vez haya generado todas las rutas, se podrán identificar todas las que hayan calculado una ruta diferente para cada una de las dos situaciones y, al analizarlas, se podrá identificar en el plano cuáles son los lugares más conflictivos para, posteriormente, darle una explicación al resultado haciendo uso de las premisas sobre las que se ha apoyado el método, con el fin de demostrar que funciona correctamente.

6.2.2. Ejecución de tests (validación pasos de peatones)

Al revisar el esquema de nodos y aristas de los que consta el plano utilizado para estos tests, se puede observar que hay un total de 68 nodos en los que se puede ubicar al usuario sin tener en cuenta posiciones intermedias de las aristas. Si se atiende a la teoría de la combinatoria, se puede apreciar que el número de posibles combinaciones entre origen y destino se corresponde con una combinación de m elementos en grupos de n sin repetición, en el que no importa el orden de los elementos; todo ello se corresponde con la siguiente ecuación:

$$C_m^n = m! / (n! * (m - n)!) = (68 * 67) / 2 = 2278 \quad (6.1)$$

Para obtener las muestras que se necesitaban, se hicieron unas modificaciones en el programa para que crease rutas entre todos los puntos y almacenase todos los puntos intermedios que hubiese en estas rutas.

Tras la ejecución del programa, se obtuvieron, efectivamente, 2278 muestras tanto para el caso en el que se utilizaron las métricas para los pasos de peatones, como para el caso en el que no se utilizaron.

6.2.3. Análisis y validación de los tests (validación pasos de peatones)

Debido a la gran cantidad de información, era necesario procesar estos datos para obtener algo más controlable con lo que trabajar; así que, en un siguiente paso, se comparó cada pareja de rutas, con el fin de encontrar las que eran diferentes. Al hacer la comparación, se llegó al resultado de que, de las 2278 rutas que se podía trazar en el plano, un total de 486 eran combinaciones en las que las rutas eran diferentes en ambos casos.

Este número es algo más abarcable, sin embargo, no es aún algo con lo que se pueda trabajar. Por tanto, se decidió extraer las rutas mínimas dentro de cada ruta en las que, efectivamente, existía una disparidad. Es decir, se trataba de coger, dentro de cada par de rutas, el fragmento de ruta en el que ambas son diferentes y obviar los tramos que comparten los mismos nodos. Por ejemplo, en el caso de tener dos supuestas rutas que en el caso d ella primera estuviese formada por los nodos (1, 2, 3, 4, 5) y la segunda formada por (1, 2, 6, 4, 5) se eliminaría la parte común y quedaría la pareja formada por las rutas (2, 3, 4) y (2, 6, 4), la cual podría ser igual a la ruta simplificada de otro par de rutas con lo cual se podría eliminar una de ellas..

El proceso para realizar este cálculo consistió en extraer de cada par de rutas entre un mismo origen y destino los tramos en los que la ruta se empezaba a diferenciar, hasta que volvía a converger. Por tanto, tras este proceso y tras eliminar los pares que representaban la misma ruta pero en el sentido inverso, se redujo el número de rutas que eran distintas a un total de 67, algo mucho más abarcable, con lo que se podrá trabajar mejor.

Para analizar estos datos, se creo una pequeña aplicación con una interfaz, en la que se pintasen al mismo tiempo parejas de rutas y, de este modo, poder comparar los caminos que tomaba cada una.

Tras esta observación, se pudieron clasificar las parejas de rutas en los siguientes grupos, en los que se explica cuál es el motivo de la mejora en la ruta obtenida con el sistema de métricas, con respecto a un sistema basado tan solo en la distancia (se muestran parejas de origen destino separadas por una coma):

- (1,15) (13,35) (3,44) (35,51) (56,66): Sustituye cruces por otros cruces menos costosos.
- (1,54) (1,68) (11,67) (13,54) (14,38) (14,65) (16,38) (16,65) (20,49) (24,59) (26,59) (28,35) (28,47) (29,35) (29,47) (31,57) (31,65) (31,66) (33,55) (33,57) (35,54) (35,58) (35,63) (35,66) (35,68) (36,46) (36,48) (38,44) (38,50) (38,65) (39,41) (41,43) (45,58) (45,66) (46,53) (47,50) (47,63) (47,68) (49,51) (51,53) (59,61) (9,67): Disminuye el número de cruces.
- (28,39) (29,39) (39,63) (39,68) (5,28) (5,29) (5,63) (7,28) (7,29) (7,63) (7,68): Evita los cruces en ángulo y los que están junto a la rotonda.
- (37,40) (39,40) (39,47) (39,48) (40,43) (7,40) (7,48): Evita el cruce en ángulo.
- (64,65) (64,66): Disminuye mucho el número de cruces, aunque pone un cruce de Tipo 2 con rotonda como opción válida.

Con esto, quedaría razonada la parte en la que se calculan rutas diferentes para las distintas métricas; sin embargo, no se explica por qué son correctas las rutas que no calculan caminos diferentes, sino que ofrecen la misma respuesta.

Para explicar esto, se hizo uso de los puntos más conflictivos del mapa y los explicaremos, con el fin de aclarar por qué las rutas calculadas son correctas y se extrapolará este resultado a las otras rutas que no contienen estos puntos conflictivos (y que, por tanto, son menos conflictivas).

Los puntos más conflictivos que se pueden observar en el plano son: el cruce en ángulo (que es el punto menos recomendable, debido a su peligro) y el cruce de Tipo 3 (que linda con una rotonda que, si bien no es un punto que conlleve un peligro tan claro como el anterior, es preferible no utilizarlo si existen alternativas a una distancia razonable).

En el primer caso (el cruce en ángulo), se realizó una búsqueda en los resultados que están formados por rutas en las que coinciden ambas métricas y no ha habido ninguna coincidencia; con lo cual, se confirma que en todos los casos, este cruce se ha evitado y se ha buscado una ruta alternativa que no conlleve peligro para el peatón.

En el segundo caso (cruce de Tipo 3 junto a una rotonda), se hizo lo mismo que en el caso anterior; pero, en esta ocasión, se obtuvo un número de rutas bastante alto que sí utilizan ese paso de peatones. En concreto, hay 205 rutas que pasan por ahí que es un número demasiado elevado con el que trabajar; así que se procedió a reducir este número para poder trabajar correctamente, mediante las siguientes operaciones.

En primer lugar, se fueron recorriendo todas las rutas, buscando todas las subrutas que contuviesen el paso de peatones en cuestión y que apareciesen al menos en dos rutas. A continuación, se volvió a recorrer los resultados y se fueron eliminando las subrutas que estuviesen contenidas en otras subrutas. Finalmente, se eliminaron las que se pudiesen repetir.

Tras este proceso, se obtuvo una lista con las subrutas mínimas que aparecen en todas las rutas; lo cual ha reducido el número de ejemplares a 30 rutas diferentes que analizar, algo mucho más cómodo con que trabajar.

Con estas 30 rutas, se creo otra simulación que eliminase del plano el cruce, de modo que se pudiese calcular la mejor ruta para conectar ambos puntos y que evitase el paso de peatones, fuese cual fuese la distancia que hubiese que recorrer.

Con todos estos resultados y, al igual que se hizo en el caso de las rutas diferentes entre las dos métricas, se visualizaron estas rutas para averiguar si sería razonable hacer uso de las rutas que se han calculado evitando el paso de peatones y los resultados han sido los siguientes:

- (17,63) (17,32) (18,27) (18,29) (19,62) (19,30) (19,61) (19,23) (20,27) (20,61) (20,23) (38,28) (38,29) (53,25) (6,22) (6,34) (6,33) (7,54): El camino es ligeramente más corto y tiene menos cruces.
- (18,32) (19,49) (37,63) (5,64) (5,32) (53,12): El camino es ligeramente más corto.
- (19,22) (19,34) (19,33) (52,53) (53,21) (53,26): El camino es mucho más corto y tiene menos cruces.

Como se puede observar, el uso de este paso de peatones tiene sentido atendiendo a que, en la mayoría de los casos, se ahorran bastante desplazamiento o, al menos, se elimina algún paso de peatones.

Al observar los resultados, se puede apreciar que es correcta la elección de estos caminos; no obstante, cabe mencionar que el diseño se puede adaptar al usuario y, si éste prefiere que se grave más el paso por zonas colindantes con rotondas, el propio usuario puede adaptar los pesos a su gusto y evitar completamente el uso de estos pasos.

Por otra parte, nos hemos encontrado con una curiosa circunstancia al ver que el uso de este algoritmo y sus simulaciones podría permitir que se localizasen fallos de diseño en las estructuras urbanas. De hecho, en el

plano diseñado, se observa que el paso de peatones localizado entre los nodos (47,48) debería encontrarse algo más desplazado hacia el “sur” o debería haber otro paso en paralelo a éste. Asimismo, se aprecia que es posible que sea necesario que haya más pasos de peatones. Con estos cambios, en la situación planteada en el caso del paso pegado a la rotonda se habría podido ofrecer la posibilidad de mostrar rutas alternativas más seguras, sin tener que desviarse demasiado.

6.2.4. Diseño de tests (validación de obstáculos)

En los puntos anteriores, se ha podido apreciar cuál es el comportamiento para el método y la métrica diseñados en entornos ideales, en los que solo hay pasos de peatones y aceras libres de obstáculos. Sin embargo, en la realidad, existen, como se ha expuesto a lo largo de la presente tesis, situaciones que pueden causar problemas a la hora de transitar por las calles; con lo cual, resulta necesario hacer pruebas para estas situaciones.

La mejor idea que se nos ha ocurrido para comprobar el comportamiento de los obstáculos consiste en calcular los puntos más transitados en condiciones normales y, a partir de éstos, colocar obstáculos que hagan que, si se vuelven a recalcular las rutas, estos puntos evolucionen a una situación en la que ya no sean los más transitados.

En los siguientes puntos, se expone cómo se hicieron estas simulaciones y cuáles fueron los resultados de las mismas.

6.2.5. Ejecución de tests

Para llevar a cabo estos tests, se tuvo que extraer información de varias fuentes. La primera de ellas es la simulación que se realizó en los tests anteriores, haciendo uso de nuestras métricas con los pasos de peatones que ya estaban colocados sobre el plano. Una vez recuperados los resultados que se obtuvieron tras aquella simulación, se contaron las veces que aparecía cada nodo y cada par de nodos, con el fin de localizar tanto los nodos como las aristas más visitadas en los cálculos de rutas.

Cuando se obtuvo el número de las repeticiones de todos los puntos y sus parejas, se extrajeron los 10 más representativos, se proyectaron sobre el plano para poder localizar dónde se encontraban y el resultado fue el que se puede ver en la figura 6.4.

Como se puede observar en la imagen 6.4, hay varias ubicaciones en las que se ha establecido los puntos más repetidos. Asimismo, se aprecia que el número más representativo de nodos y aristas se está agrupando (como era de esperar) en el centro del paseo que divide la parte superior del plano de la inferior. El hecho de que la mayoría de rutas pasase por ahí era algo que ya se podía intuir más o menos, debido a la poca conectividad del plano y a que estos puntos se encuentran en una zona de tránsito, ya que no son

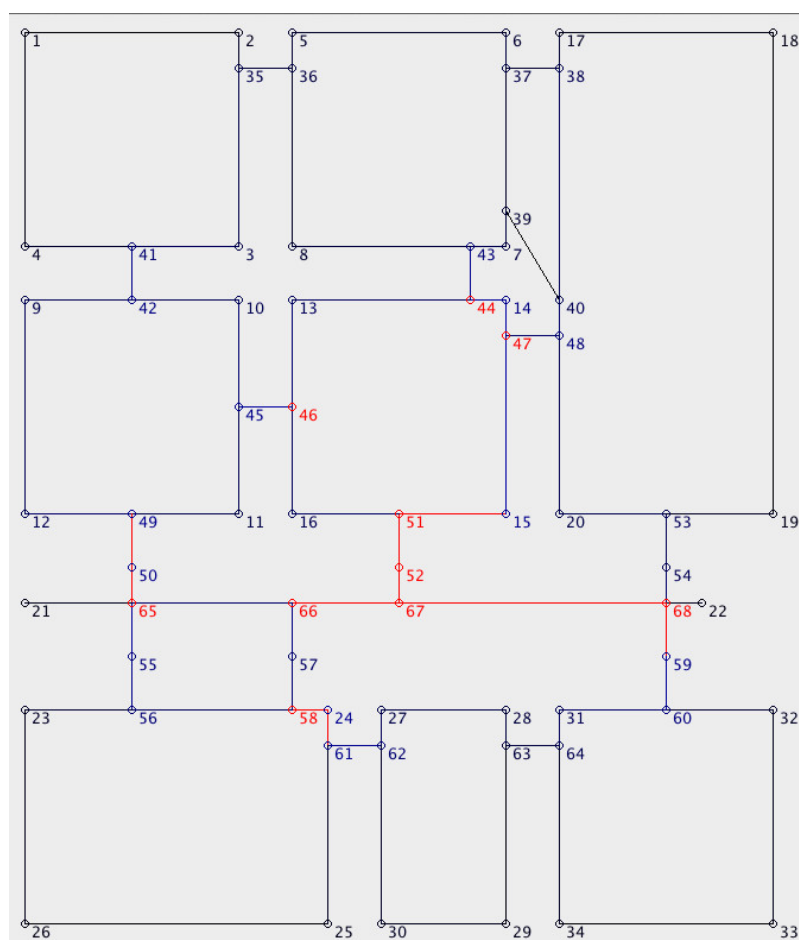


Figura 6.4: Puntos más visitados sin obstáculos.

puntos periféricos que únicamente se visiten en las rutas que se encontrasen definidas por esos puntos y otros muy próximos. En consecuencia, se eligió esta ubicación para establecer unos cuantos puntos y zonas con obstáculos.

Los obstáculos que se colocaron fueron, concretamente, los que se representa en el listado 6.1, los cuales son una serie de arboles colocados en los nodos 51, 52, 66, 67 y 68, por otro lado un par de zonas ocupadas de forma regular por bancos que se encuentran en (66, 67, 68) y en (52, 67) que como se pudo ver representan las zonas más conflictivas.

Listing 6.1: Agregando obstáculos para la simulación

```

1 <node id="51" lat="27" lon="21" >
2   <tag k="footway_feature:tree" v="yes" />
3 </node>
4 <node id="52" lat="30" lon="21">
5   <tag k="footway_feature:tree" v="yes" />
6 </node>
7
8 <node id="66" lat="32.5" lon="15">
9   <tag k="footway_feature:tree" v="yes" />
10 </node>
11 <node id="67" lat="32.5" lon="21">
12   <tag k="footway_feature:tree" v="yes" />
13 </node>
14 <node id="68" lat="32.5" lon="36">
15   <tag k="footway_feature:tree" v="yes" />
16 </node>
17
18 <way id="50" >
19   <nd ref="66"/>
20   <nd ref="67"/>
21   <nd ref="68"/>
22   <tag k="footway_feature:bench" v="1,0" />
23 </way>
24 <way id="51" >
25   <nd ref="52"/>
26   <nd ref="67"/>
27   <tag k="footway_feature:bench" v="1,0" />
28 </way>

```

Una vez establecidos estos obstáculos, se generaron una serie de simulaciones con diferentes pesos para los obstáculos y se guardaron los resultados para su análisis.

6.2.6. Análisis y validación de los tests

Cuando ya se dispuso de los resultados de las simulaciones, al igual que se hizo con los resultados de la primera simulación, se proyectaron los puntos más representativos de éstas para tener una representación más fácil de analizar y en la que poder ver los resultados.

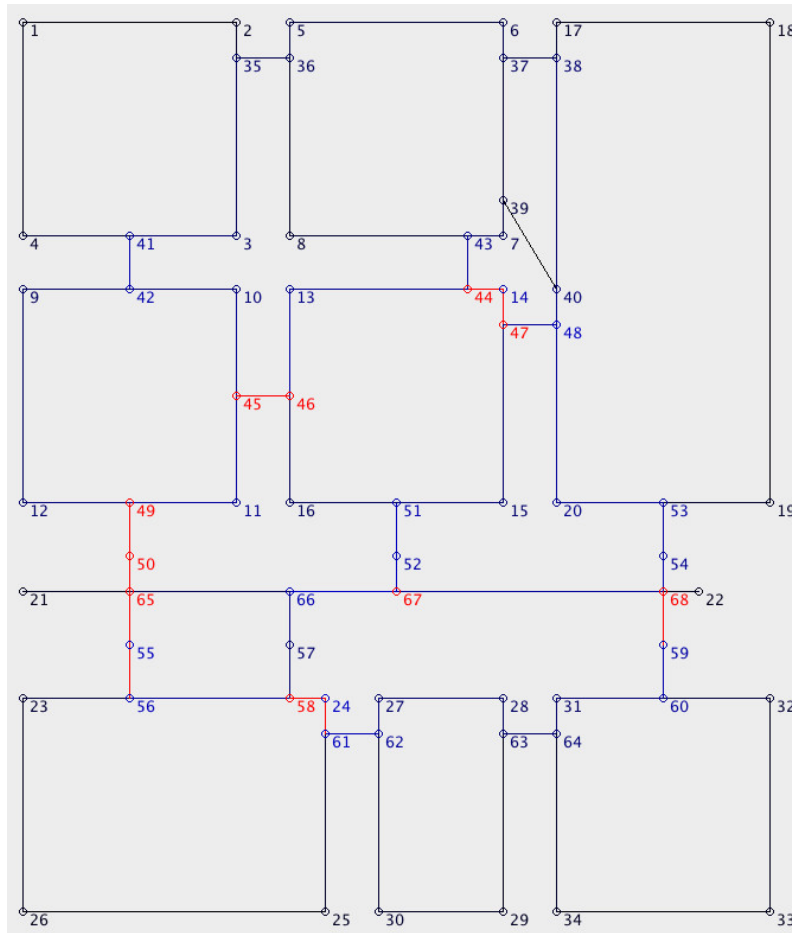


Figura 6.5: Puntos más visitados: primera simulación con obstáculos

Con la proyección de la primera de las simulaciones (figura 6.5), cabe observar que, aunque no se detecta un patrón totalmente definido (los puntos más representativos se han esparcido por el mapa), sí se aprecia que disminuye el número de puntos relevantes en la zona afectada por los obstáculos.

Si observamos los resultados cuantitativos, también se puede apreciar que si bien no dejan de estar en las posiciones más transitadas del plano si que es cierto que el número de tránsitos va disminuyendo.

Para confirmar la tendencia del comportamiento observado en la primera simulación (como ya se indicó en el punto anterior), se realizó una segunda simulación, en la que se gravaron aun más los obstáculos. Tras esta nueva simulación, se hizo lo mismo que en el caso anterior con los resultados y se observó la proyección de éstos sobre el plano.

Con los nuevos resultados (figura 6.6) plasmados sobre el plano, en esta ocasión, sí se puede apreciar claramente que las rutas que anteriormente

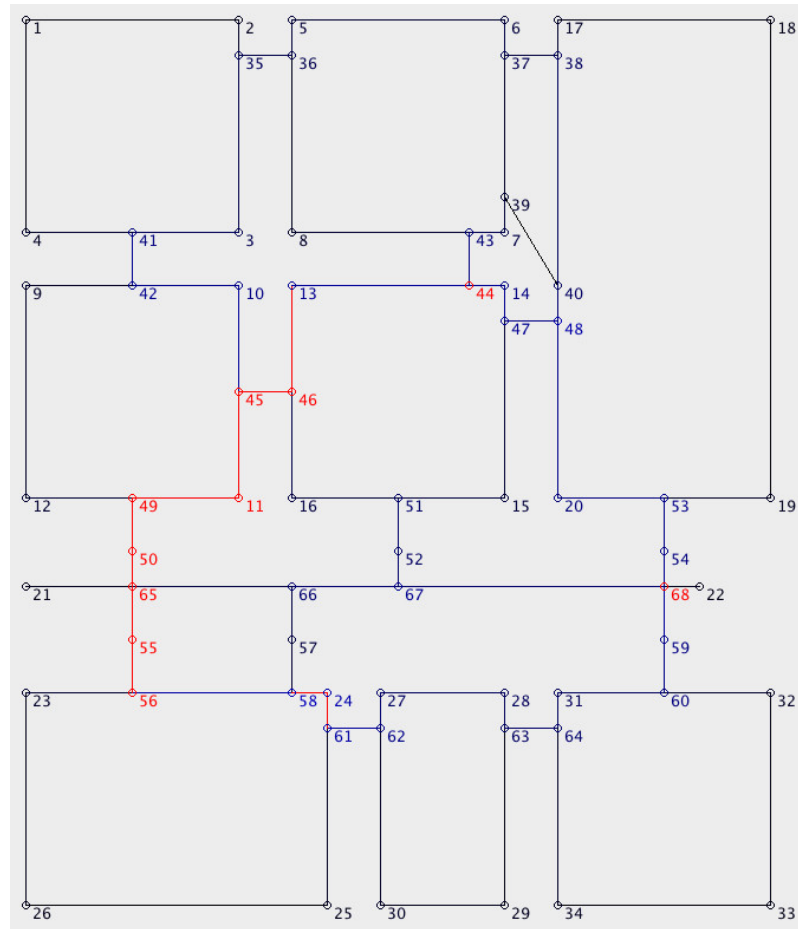


Figura 6.6: Puntos más visitados: segunda simulación con obstáculos.

pasaban por el centro del paseo, ahora transcurren a ambos lados del mismo y el lado izquierdo tiene preferencia sobre el derecho; algo que era de esperar también, al encontrarse la rotonda en el lado de la derecha (lo cual afecta negativamente al cálculo de rutas, como se pudo observar anteriormente).

Si se observa los resultados cuantitativos (al igual que se hizo en la simulación anterior), se confirma, en esta ocasión, que el número de tránsitos por estos nodos y aristas ha disminuido bastante y que dichos nodos y aristas quedan prácticamente excluidos de los puntos de principal tránsito.

Tras estudiar todos estos resultados, se puede llegar a varias conclusiones: en primer lugar, el cálculo de rutas, cuando hay presencia de obstáculos en las rutas, funciona correctamente. Además, cabe mencionar que el factor de gravamiento que se ha aplicado para calcular las nuevas rutas en el último caso era algo elevado (como era de esperar), debido principalmente al carácter de tránsito que poseen estos nodos, a raíz de su ubicación en un plano tan

pequeño y de la poca conectividad que ofrece el plano diseñado. Todo esto confirma lo que ya se pudo apreciar en el test anterior: este plano no está correctamente diseñado para un uso en la vida real. De lo cual, se extrae el potencial que tiene el algoritmo no solo para el cálculo de rutas seguras, sino también para funcionar como una herramienta de ayuda en el diseño urbanístico de zonas peatonales.

Por otra parte, se repitió este último test, aunque, en esta ocasión, sobre los nodos y aristas que se encuentran agrupados en la parte de la izquierda y que, como se puede observar, también son muy transitados (49, 50 y 65), añadiendo en esta ocasión un árbol en el nodo 65 y una zona de bancos en la vía (49,50,65) tal y como se puede ver en el listado 6.2.

Listing 6.2: Agregando obstáculos adicionales para la simulación

```
1 <node id="65" lat="32.5" lon="6" >
2   <tag k="footway_feature:tree" v="yes" />
3 </node>
4
5 <way id="51" >
6   <nd ref="49"/>
7   <nd ref="50"/>
8   <nd ref="65"/>
9   <tag k="footway_feature:bench" v="1,0" />
10 </way>
```

Tras calcular las nuevas rutas, se pudo proyectar el resultado sobre el plano tal y como se puede ver en la figura 6.7.

Como se puede observar, los nodos y aristas que se han marcado como obstáculos han sido eliminados de los más transitados. Además, en este caso, el valor de gravamiento era menor que el que se utilizó en el caso anterior, sin embargo, el valor sigue siendo algo alto, lo cual no quiere decir que el método esté mal diseñado, sino que es necesario hacer un estudio más detallado con entornos reales y sujetos con los que evaluar los resultados. No obstante, se puede apreciar que el método funciona correctamente y lo único que habría que hacer es concretar los mejores valores para cada tipo de obstáculo.

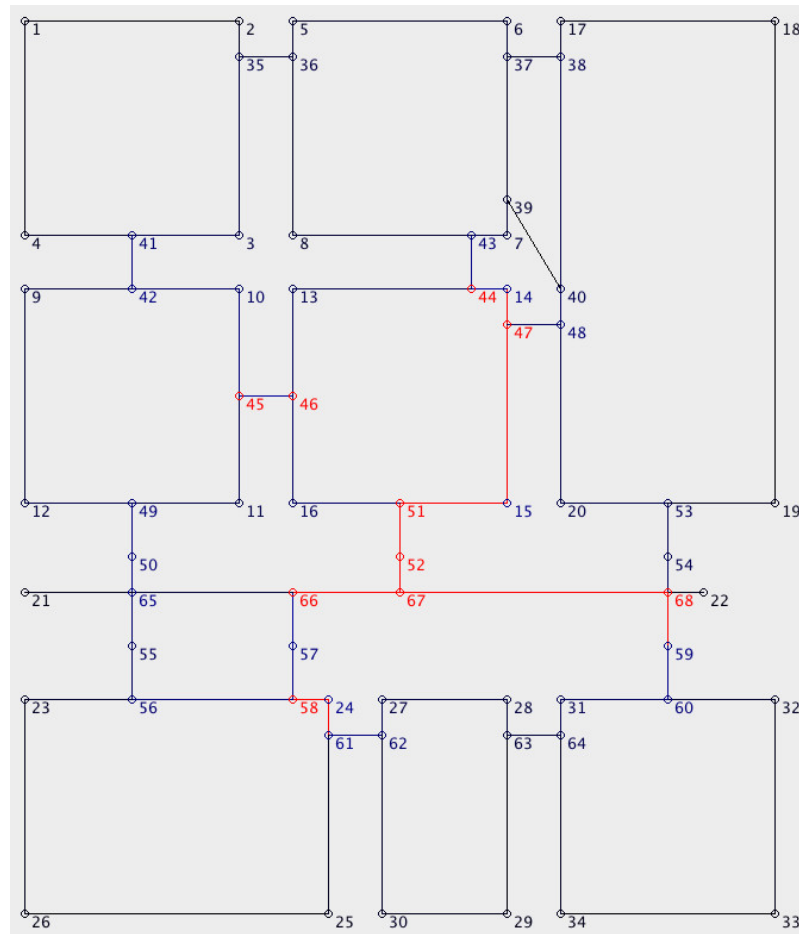


Figura 6.7: Puntos más visitados: simulación alternativa con obstáculos.

Capítulo 7

Conclusiones y trabajo futuro

RESUMEN: Este capítulo se limitará únicamente a coger todo lo que se ha podido desarrollar en los capítulos anteriores y comentar cuales son las conclusiones a las que hemos podido llegar ademas de comentar cuales son los objetivos que hemos logrado. Por otro lado finalizaremos el capitulo con un apartado en el que mostraremos como se podría seguir este tema y los que han aparecido a su alrededor en estudios futuros con los que seguir la investigación.

7.1. Conclusiones

A lo largo de los capítulos anteriores, nos hemos enfrentado a una serie de problemas que se pudieron extraer del análisis de una situación inicial que planteabamos como un problema que estudiar. Tras la identificación inicial de los principales problemas, se intento acercarse con mayor detalle a dichos problemas, con el fin de comprenderlos y ofrecer alguna solución. Para ello, se han realizado una serie de encuestas y algún experimento. Tras todo ello, se propusieron soluciones para algunos de estos problemas, entre ellos el principal de los problemas que consistía en la generación de rutas seguras para peatones ciegos o con baja visión. Finalmente en el capítulo anterior, se demostró que la aproximación a la solución del principal de los problemas estaba correctamente planteada y ofrecía una posible solución.

El trabajo con estos problemas y el diseño de una posible solución nos ha ayudado a llegar a una serie de conclusiones que se enumerarán a continuación.

7.1.1. Mapeado de zonas para el cálculo de rutas seguras

Este punto es en el que se ha centrado el estudio de la tesis. Aquí se ha podido apreciar cómo se ha diseñado una forma de representar las diversas

situaciones más o menos problemáticas que pueden aparecer al transitar por las calles de nuestras ciudades.

Se ha podido trabajar desde el paso por cruces al que se le ha ofrecido tanto un diseño específico de los distintos tipos y los posibles agravantes/atenuantes que podían aparecer, como una métrica capaz de evaluar la bondad de dichos cruces. Las vías ordinarias también han sido estudiadas y se ha ofrecido igualmente un diseño que ofrecía la posibilidad de detallar las características de estas y una métrica capaz de evaluarlas con lo que combinando ambas se han podido obtener, tal y como se buscaba, rutas seguras para los peatones.

Pensamos que este enfoque que se ha dado a este problema es algo novedoso, ya que, en el estudio de las tecnologías existentes hasta la fecha, no se hacía hincapié alguno en que la forma de mapear fuese más allá de la topología del lugar y, en los casos en los que más se llegaba a mapear, era para colocar puntos de interés de los que alertar al peatón. Por tanto, podemos decir que la aportación que se ha podido realizar mediante esta aproximación es de gran interés, ya que ofrece una base que puede ser común a todos los sistemas que deseen ofrecer rutas seguras a sus usuarios.

Asimismo, la implementación que se ha podido llevar a cabo para comprobar su correcto funcionamiento ha desvelado una serie de circunstancias que destacar: por una parte, se ha podido observar que es de gran importancia que todos estos sistemas sean muy configurables, para que el usuario logre que las rutas que se le ofrecen sean lo más parecidas a sus preferencias. Por otra parte, también se aprecia que la herramienta es de gran utilidad para diseñar las vías peatonales de una ciudad; de modo que, por medio de simulaciones, se pueda observar el comportamiento de las rutas calculadas y, de esta forma, poder diseñar vías que minimicen la disparidad en distancia entre la mayor parte de las rutas basadas en distancia recorrida y las rutas calculadas haciendo uso del algoritmo para minimizar el riesgo para el peatón.

Además, consideramos que es muy importante el hecho de haber podido basar este trabajo en un estándar tan extendido como es el caso de Open Street Map. Al hacerlo, se ofrece la posibilidad de que haya una gran comunidad detrás, capaz de ampliar las zonas mapeadas y adaptarlas a diversas necesidades y a proyectos de este tipo. Asimismo, proporciona una gran extensibilidad para tener en cuenta situaciones que, en la actualidad, no se han podido contemplar, pero que, en un futuro, podrían surgir.

Es por todo lo anterior que se puede considerar que el objetivo que teníamos de conseguir crear una metodología válida para el mapeo de zonas y el cálculo de rutas seguras para personas ciegas o con baja visión se ha conseguido con creces ya que adicionalmente mediante los recursos obtenidos tal y como se ha comentado se ha podido ver una utilidad adicional de estos resultados al poderse utilizar como herramienta de chequeo de la accesibilidad

de topologías urbanas.

7.1.2. Comprensión de los problemas reales del tránsito

El haber podido trabajar directamente con personas que formasen parte del conjunto objetivo al que iba dirigido el estudio, nos ha ayudado a comprender mucho mejor las problemáticas que aparecen a la hora de que una persona ciega o con baja visión transite por una zona desconocida o no necesariamente desconocida sino que sea una zona en la que se pueda encontrar dificultades.

Por tanto este objetivo se puede decir que ha sido conseguido al haber sabido aprovechar esta oportunidad para tener una mayor comprensión de elementos que plantean problemas a este tipo de peatones tales como son los cruces de calles que pueden llegar incluso a colocar a los individuos en situaciones peligrosas, o la existencia de obstáculos de carácter temporal o los obstáculos en altura que según se ha podido ver son los que mayor incomodidad producen a los usuarios.

7.1.3. Interacción con el usuario

Como se pudo observar al presentar los diferentes sistemas de guiado de personas con discapacidad visual, el tema de la interacción con el usuario resulta de gran importancia y se le han planteado muchas y muy variadas soluciones. Desde auriculares que comunicaban instrucciones al usuario, pitidos en distintas frecuencias y volúmenes o incluso el uso de dispositivos que ofrecían un feedback háptico al usuario en forma de vibración.

En este estudio, no se quiso desaprovechar la ocasión y se pudo realizar una evaluación de un sistema más o menos novedoso para el público en general, el uso de auriculares de transmisión ósea, que ya se habían utilizado con anterioridad en personas con problemas auditivos en el oído externo y medio. Con ello, se pudo constatar que es interesante contemplar las posibilidades que ofrecen los nuevos medios que se desarrollan, que, si bien no han sido diseñados en primera instancia para estos fines, pueden ofrecer una buena solución en estos ámbitos.

Además, se pudo comprobar que es necesario acomodar al usuario y "entrenarlo" para que pueda adoptar estos nuevos medios de interacción, ya que no hay que olvidar que se está trabajando con personas que pueden ser muy heterogéneas y resulta muy difícil ofrecer una solución común para todas ellas.

La conclusión a la que hemos llegado al trabajar con este tema es que, por una parte, está muy bien poder hacer uso de nuevas tecnologías de interacción con el usuario, ya que lo más probable es que éstas se adapten a la perfección a un tipo de usuario; sin embargo, por otra parte, conviene dejar abierta la posibilidad de ofrecer todas las alternativas posibles, para que la

gran diversidad de usuarios pueda acceder a la que mejor se ajuste a sus necesidades.

7.1.4. Obstáculos de carácter temporal

Este tema, ni tan siquiera se nos había planteado al comienzo de la tesis, pero sin embargo, al ir avanzando y comprender mejor los problemas tal y como hemos comentado antes, al obtener la colaboración de las personas que participaron en las encuestas, se pudo apreciar que se trataba de un tema muy importante que tener en cuenta a la hora de moverse por una ciudad.

Si bien hay obstáculos de carácter temporal que resulta muy difícil tener controlados en tiempo real al transitar por una ciudad, también es cierto que, como se ha podido observar con los experimentos, sería muy fácil controlar cierto tipo de eventos (como es el caso de obras u otros eventos organizados/promovidos por ayuntamientos u otras organizaciones).

En nuestra propuesta, se planteo como posible solución el uso de balizas bluetooth de bajo consumo para avisar con antelación al sistema de guiado que se esté utilizando, de modo que éste comunique al usuario la situación ante la que se va a encontrar, así como la alternativa que el medio va a ofrecer y por qué la va a ofrecer.

La conclusión ante el estudio realizado, es que el uso de esta tecnología o cualquier otra que permita conocer con anterioridad problemas puntuales en las vías ayudaría considerablemente a los transeúntes, que podrían beneficiarse de dos formas diferentes: por una parte, en un sistema de guiado automatizado, éste podría buscar automáticamente la alternativa más adecuada o, si no fuese necesario, al menos, podría indicar al usuario el problema que va a afrontar. Por otra parte, si no se utilizase un sistema de guiado, se podría hacer una simple aplicación para que a un usuario experimentado y conocedor de la zona se le alertase del evento que se está produciendo, de tal forma, que el usuario pudiese optar por una alternativa que conociese y evitar de este modo males mayores.

Como ya se ha mencionado, este tema es muy interesante y ayuda a poder trabajar en entornos reales al contrario de lo que ocurría en la totalidad de los sistemas estudiados, que parece que se han realizado en entornos ideales o que, por lo menos, no han surgido situaciones no mapeadas, lo cual no es lo más común en la vida real.

7.2. Líneas de trabajo futuro

El trabajo que se podría realizar en un futuro a partir del punto en el que se queda este estudio es bastante amplio e interesante, ya que esto tan solo es una pequeña parte dentro de un problema mucho mayor que toca muy diversas áreas de investigación.

El primer punto y el más obvio que se podría desarrollar a partir de donde nos hemos quedado es depurar las métricas que aquí se han presentado, ya que en el presente trabajo, se ha hecho el primer esfuerzo por diseñar una forma de representar estas métricas, pero tal vez ha estado un poco escaso a la hora de realizar experimentos con un número representativo de usuarios. Por tanto, en primer lugar, habría que obtener una lista completa de obstáculos que causen problemas a los usuarios. Posteriormente, habría que dividir dicha lista de obstáculos en dos listas, una para obstáculos puntuales y otra para obstáculos de tramo (un mismo obstáculo podría estar en ambas listas si fuese necesario).

Cuando ya se disponga de estas dos listas, se debería volver a consultar a los usuarios, con el fin de que ayudasen a evaluar la complejidad de los distintos obstáculos y, si fuese necesario, debido al elevado número de tipos de obstáculos que se pudieran encontrar, también estaría bien hacer un agrupamiento en conjuntos de tipos de obstáculos, para ayudar a simplificar la complejidad de los cálculos. El desarrollo de estos puntos, junto a una labor de mapeado intensivo, siguiendo las pautas que se han descrito en esta tesis, ayudarían a conseguir un sistema mucho más avanzado, que calculase rutas mucho más seguras para los usuarios que son objetivo del estudio. Resulta de gran importancia subrayar que nunca se debe olvidar que todos los pesos deben ser configurables por los usuarios para que el cálculo de las rutas sea más personalizado.

El siguiente punto que se podría desarrollar a partir de los resultados de este estudio ya ha sido introducido tanto en la memoria como en el apartado relativo a las conclusiones: los resultados de este estudio son válidos tanto para resolver los problemas como para ayudar a mitigar dichos problemas con anticipación. Se podría desarrollar una aplicación capaz de alterar el sentido del tráfico sobre un plano, así como la localización de los pasos de peatones y sus características, con el fin de que, en zonas de nueva construcción, se pueda llegar a una distribución que proporcione un equilibrio en la mayoría de los casos, que minimice, por una parte, la longitud de las rutas basadas en distancia y, por otra parte, que reduzca al mínimo la disparidad entre las anteriores y las rutas entre los mismos puntos, que se basan en el algoritmo capaz de minimizar el riesgo de la ruta para el peatón.

Siguiendo con el tema de plantear futuros proyectos a partir de este trabajo, cabe destacar que en las encuestas, también se ha podido observar que, en ocasiones, hay elementos en las vías públicas que ayudan al usuario a saber por dónde se encuentra o si se está moviendo correctamente por las vías. Por tanto, habría que realizar otro estudio sociológico, basado en usuarios que pudieran aportar listas de elementos en los que ellos se fijen al caminar por las calles de la ciudad y que les ayuden a asegurar su posición. En este sentido, se podría señalar algunos ejemplos, como el sentido del tráfico o la presencia de algún tipo de establecimiento (como una pastelería)

o, simplemente, que el suelo en cierta zona sea distinto al que suele haber por el resto del área. Estos elementos ayudarían a tener una idea mucho más completa sobre el ámbito de trabajo; lo cual beneficiaría al usuario, ya que le proporcionaría un feedback encubierto, que le haría sentirse mejor, ya que sería capaz de reconocer por sus propios medios que va por el buen camino o que se está equivocando.

Obviamente, los elementos que se han señalado en el párrafo anterior son de muy diversa procedencia y no aportarán la misma información a todos los tipos de usuario, con lo cual, sería muy importante hacer un reparto de los diferentes elementos entre distintos grupos de usuarios, según sus características; de tal forma, que rellenando un formulario al inicio de la primera ejecución, se pudiera reconocer el grupo al que pertenece un usuario concreto y hacer una primera aproximación a los elementos más relevantes a los que va a atender dicho usuario. Como ya se ha indicado, estas preferencias deberían ser siempre ajustables a las necesidades personales del usuario.

Con el fin de completar el conocimiento acerca del mapa y ofrecer las mejores rutas, también sería necesario realizar un estudio sobre las posibles peculiaridades geométricas que se pueden encontrar en los mapas, con el fin de mapearlas de una forma más precisa y dirigida a los usuarios objetivo, por una parte y, por otra parte, para atribuir (como ya se ha hecho anteriormente con obstáculos físicos) pesos de complejidad a diferentes geometrías que, a priori, son complejas para el usuario. En este trabajo, se ha introducido algo parecido a esto, sin llegar al nivel de asignar un peso de complejidad a la circunstancia concreta: nos referimos al apartado en el que se exponía el modo de mapear una curva en un camino, donde se sostenía que no había que desviarse una distancia umbral del centro para evitar salirse del camino a la hora de recorrerlo.

Tras todos los puntos anteriores, se tendrá una comprensión muy detallada de las tipologías urbanas orientadas a su uso por parte de las personas objetivo del estudio. Es posible que mientras se realizan las acciones propuestas en las líneas anteriores, surjan otras necesidades que estudiar, que se irían abordando cuando correspondiese y que ayudarían a completar el modelo. Con todo este conocimiento, se abriría la posibilidad de afrontar el problema relativo al modo de ofrecer toda la información necesaria al usuario.

En este punto, entraría la ingeniería lingüística, que sería la encargada de mostrar los mensajes al usuario de una forma más o menos natural. En primer lugar, habría que identificar las diversas situaciones que pueden surgir, de forma que se cree mensajes informativos, instrucciones, alertas y todo aquello que sea necesario. Posteriormente, habría que generar un sistema de lenguaje natural que crease todas estas instrucciones y que se las ofreciese al usuario en el momento más adecuado.

Finalmente, el asunto de la adaptación al usuario es de gran importancia, no solo para este tipo de aplicaciones, sino también para cualquier aplicación

que tenga que comunicarse con personas. Es de suma importancia lograr que la aplicación sea capaz de adaptarse a distintos tipos de personas y, en concreto, a un usuario específico. En el caso de dar instrucciones, reviste una gran importancia, el tener en cuenta el modo en que se comunica la información a las personas, ya que, según el resultado de las instrucciones y la forma en que las perciba cada persona, puede hacer que el usuario no desee volver a utilizar nunca más esa aplicación, ya que o bien no le ha servido de ayuda (porque no se ha sabido entender) o bien le ha provocado una sensación de incomodidad al tratar con ella. Por ello, reiteramos la importancia de adaptar la aplicación desde un principio a unos perfiles predefinidos de una forma sencilla, que este perfil seleccionado sea editable por el usuario para poder hacerlo más acorde a sus preferencias, si es posible, que el perfil se auto adapte a la experiencia del usuario y, viendo cómo va evolucionando éste, que la interacción con el dispositivo maneje un alto rango de registros (un usuario puede encontrarse más cómodo con un dispositivo que es más claramente una máquina que con un dispositivo que usa un lenguaje natural más próximo a una persona, etc.). Es decir, tanto el modelado de usuarios como la alta adaptabilidad del sistema y el autoajuste del mismo al usuario son unos temas de estudio muy relevantes que tener en cuenta en trabajos de este tipo con una parte social tan representativa.

Es bastante probable que existan muchas otras ramas de estudio por las que se podría desarrollar un posible trabajo posterior; sin embargo, éstas son las que se han considerado más importantes. Por tanto, se puede apreciar que, en este campo, aún hay mucho trabajo que realizar; un trabajo que está bien identificado y esto supone que, si las circunstancias socioeconómicas lo permiten, temas sociales como éste tengan un futuro prometedor en el ámbito de la investigación social y tecnológica.

Parte I

Apéndices

Apéndice A

Encuesta para obtención de información

RESUMEN: En este apéndice se va a mostrar el formulario que se utilizo para obtener información para el desarrollo de la tesis y un listado con las cosas a tener en cuenta ahora y en futuros trabajos extraídos de las respuestas de los encuestados.

A.1. Encuesta

En las siguientes líneas, se muestra la encuesta que se pudo facilitar a un grupo de personas, para la obtención de información que fuese útil y valiosa para el desarrollo de la tesis. Aquí no solo se mostrarán las preguntas que se realizaron sino que también se mostrarán las posibles respuestas si se trataba de preguntas de elección:

1. ¿En qué franja de edad te encuentras?

- a)* Entre 0 y 9
- b)* Entre 10 y 19
- c)* Entre 20 y 29
- d)* Entre 30 y 39
- e)* Entre 40 y 49
- f)* Entre 50 y 59
- g)* Entre 60 y 69
- h)* Entre 70 y 79
- i)* Entre 80 y 89

- j) 90 o más
2. ¿Tienes resto visual? ¿De qué tipo?
 - a) No, no tengo ningún tipo de resto visual
 - b) Percibo luces pero no la forma de una mano a cualquier distancia
 - c) Soy capaz de reconocer formas
 - d) Tengo resto visual, pero a 2 metros ya tengo problemas a la hora de reconocer objetos
 - e) Tengo problemas de visión leves
 - f) No, no tengo problemas de visión
3. ¿Utilizas bastón en tus desplazamientos habitualmente?
 - a) Si, Siempre
 - b) En ocasiones
 - c) No, Nunca
4. ¿Te sueles mover habitualmente con Perro Guía?
 - a) Si, Siempre
 - b) En ocasiones
 - c) No, Nunca
5. Con respecto a la tecnología ¿Dentro de qué conjunto de entre los siguientes te englobarías?
 - a) No utilizo la tecnología
 - b) Principiante
 - c) Medio
 - d) Avanzado
 - e) Experto
6. Cuando trabajas en un dispositivo móvil ¿Utilizas lector de pantalla?
 - a) Si, Siempre
 - b) En ocasiones
 - c) No, Nunca
7. En tu terminal móvil ¿Qué sistema operativo utilizas?
 - a) iOS (Apple)
 - b) Android

- c) Symbian
 - d) Otro
 - e) No lo sé
 - f) No tengo movil
8. Cuando te dan instrucciones para llegar a algún sitio, ¿qué tipo de indicaciones prefieres que te den (concisas o desarrolladas)?
 9. Cuando te van a dar instrucciones para llegar a un sitio ¿te gustaría que te hicieran un resumen"de los lugares más o menos significativos por los que vas a pasar?
 10. ¿Crees que tener los oídos tapados (con auriculares) puede ser un problema a la hora de desplazarte?
 11. ¿Crees que el hecho de estar unido al dispositivo por un cable puede ser perjudicial en los traslados?
 12. ¿Crees que el uso de señales acústicas ante determinados eventos, en lugar del uso de frases, puede ser más indicado o eficaz?
 13. ¿Y la combinación con vibraciones?
 14. Si te encuentras en un entorno ruidoso, ¿qué prefieres, que el volumen se adapte automáticamente o controlarlo por ti mismo?
 15. ¿Te gustaría que hubiese atajos para que se te repitieran las instrucciones o que pudieras solicitar un nivel mayor de detalle en las mismas?
 16. Qué preferirías ¿interactuar directamente con el terminal o darle instrucciones por medio del habla?
 17. ¿Tienes algún tipo de medida personal establecido a la hora de medir distancias para localizar puntos de referencia en los desplazamientos (pies, puertas, árboles...)? ¿Cuáles?
 18. ¿Qué obstáculos son los que te producen más problemas a la hora de sortearlos? ¿Por qué?
 19. ¿Utilizas algún tipo de establecimiento/comercio como referencia para ubicar una zona o lugar?
 20. ¿Y algún otro elemento urbano o sensación?
 21. ¿En qué te sueles fijar a la hora de cruzar una calle?
 22. ¿En qué te sueles fijar a la hora de atravesar una plaza?
 23. ¿Y en el caso de un parque?

24. ¿Te gustaría colaborar aportando rutas al sistema y que otros usuarios también lo hagan?
25. ¿Te gustaría que las rutas “donadas” fuesen validadas?
26. ¿Te gustaría que en las rutas “donadas” se distinguiese entre las validadas y las no validadas?
27. ¿Te gustaría que se distinguiese entre rutas automáticas y rutas “donadas”?
28. En el caso de que planees hacer una ruta y te encuentres con que esa ruta no está entre las “donadas” y tampoco se pueda calcular con la información que poseamos, ¿te gustaría tener la posibilidad de pedir ayuda a la “comunidad” para que creen una ruta específica o que se intente mapear una zona?

A.2. Listado de elementos y circunstancias significativos para los peatones cuando circulan por vías urbanas

En este punto simplemente se van a enumerar una lista de los elementos y circunstancias que hemos extraído del cuestionario que pueden afectar a los peatones ciegos o con baja visión en sus transitos por las calles de las ciudades:

- | | |
|---|--|
| ■ Puertas | ■ Tiempo en llegar |
| ■ Distancias en pasos | ■ Puntos de referencia |
| ■ Árboles | ■ Motocicletas aparcadas |
| ■ Farolas | ■ Contenedores de basura |
| ■ Cambios de suelo | ■ Papeleras colgadas en la pared o puestas en el suelo |
| ■ Alcantarillas | ■ Señales |
| ■ Setos | ■ Escalones inesperados hacia abajo |
| ■ Locales característico (bar, pastelería, etc. | ■ Bancos |
| ■ Contar el número de calles que se cruzan | ■ Expositores de los comercios |
| ■ Coches | ■ Terrazas de bares |
| | ■ Maceteros |

- | | |
|--|--|
| ■ “Quitamiedos” | ■ Pendientes más o menos pronunciadas |
| ■ Pasos de peatones indistinguibles | ■ Rugosidad del suelo |
| ■ Andamios | ■ Ruido peculiar de algún establecimiento |
| ■ Obstáculos en altura | ■ Espacios libres |
| ■ Progresión en los cambios de calles | ■ Presencia de mediana en medio de los cruces |
| ■ Número de carriles de la carretera | ■ Geometría del cruce (recto o en curva/ángulo) |
| ■ Sentido en que circula el tráfico | ■ Duración del semáforo |
| ■ Semáforos sonoros | ■ Acciones del resto de peatones en los cruces |
| ■ Paradas de autobús que tienen marquesina | ■ Lógica de los cruces |
| ■ Kioskos (de prensa, helados, castañas, lotería, golosinas, etc.) | ■ Ubicación de los pasos de peatones (squinas y chaflanes) |
| ■ Aceras anchas o estrechas | ■ Jardines |
| ■ Entradas a garajes | ■ Bordillos |

Apéndice B

Validación de resultados

RESUMEN: En este apéndice se va a mostrar el archivo xml con el que se ha trabajado para describir un entorno de pruebas sobre el que realizar las simulaciones que validarían el método y las métricas, también se mostrará el archivo xml que describe los pesos de los obstáculos y finalmente se verá una serie de resultados que se obtuvieron tras varias de las simulaciones y tras la simplificación de los resultados inicialmente obtenidos.

B.1. Descripción del área de trabajo

En el siguientes listado se puede encontrar el archivo xml que describe el área en el que se trabajo para hacer las simulaciones que validarían el método de mapeado que se ha diseñado y las métricas que se crearon para el cálculo de las rutas seguras para peatones ciegos y con baja visión. Este listado muestra la situación inicial en la que nos encontramos todos los nodos y aristas del área, al igual que los pasos de peatones que había presentes, sin embargo, lo que serían los obstáculos que se usaron no se encuentran presentes:

Listing B.1: Archivo xml descriptor del área de simulación.

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <topology>
3   <node id="1" lat="0" lon="0" />
4   <node id="2" lat="0" lon="12" />
5   <node id="3" lat="12" lon="12" />
6   <node id="4" lat="12" lon="0" />
7   <node id="5" lat="0" lon="15" />
8   <node id="6" lat="0" lon="27" />
9   <node id="7" lat="12" lon="27" />
10  <node id="8" lat="12" lon="15" />
```

```

11 <node id="9" lat="15" lon="0" />
12 <node id="10" lat="15" lon="12" />
13 <node id="11" lat="27" lon="12" />
14 <node id="12" lat="27" lon="0" />
15 <node id="13" lat="15" lon="15" />
16 <node id="14" lat="15" lon="27" />
17 <node id="15" lat="27" lon="27" />
18 <node id="16" lat="27" lon="15" />
19 <node id="17" lat="0" lon="30" />
20 <node id="18" lat="0" lon="42" />
21 <node id="19" lat="27" lon="42" />
22 <node id="20" lat="27" lon="30" />
23 <node id="21" lat="32.5" lon="0" />
24 <node id="22" lat="32.5" lon="38" />
25 <node id="23" lat="38" lon="0" />
26 <node id="24" lat="38" lon="17" />
27 <node id="25" lat="50" lon="17" />
28 <node id="26" lat="50" lon="0" />
29 <node id="27" lat="38" lon="20" />
30 <node id="28" lat="38" lon="27" />
31 <node id="29" lat="50" lon="27" />
32 <node id="30" lat="50" lon="20" />
33 <node id="31" lat="38" lon="30" />
34 <node id="32" lat="38" lon="42" />
35 <node id="33" lat="50" lon="42" />
36 <node id="34" lat="50" lon="30" />
37 <node id="35" lat="2" lon="12" />
38 <node id="36" lat="2" lon="15" />
39 <node id="37" lat="2" lon="27" />
40 <node id="38" lat="2" lon="30" />
41 <node id="39" lat="10" lon="27" />
42 <node id="40" lat="15" lon="30" />
43 <node id="41" lat="12" lon="6" />
44 <node id="42" lat="15" lon="6" />
45 <node id="43" lat="12" lon="25" />
46 <node id="44" lat="15" lon="25" />
47 <node id="45" lat="21" lon="12" />
48 <node id="46" lat="21" lon="15" />
49 <node id="47" lat="17" lon="27" />
50 <node id="48" lat="17" lon="30" />
51 <node id="49" lat="27" lon="6" />
52 <node id="50" lat="30" lon="6" />
53 <node id="51" lat="27" lon="21" />
54 <node id="52" lat="30" lon="21" />
55 <node id="53" lat="27" lon="36" />
56 <node id="54" lat="30" lon="36" />
57 <node id="55" lat="35" lon="6" />
58 <node id="56" lat="38" lon="6" />
59 <node id="57" lat="35" lon="15" />
60 <node id="58" lat="38" lon="15" />
61 <node id="59" lat="35" lon="36" />
62 <node id="60" lat="38" lon="36" />
63 <node id="61" lat="40" lon="17" />
64 <node id="62" lat="40" lon="20" />

```

```
65 <node id="63" lat="40" lon="27" />
66 <node id="64" lat="40" lon="30" />
67 <node id="65" lat="32.5" lon="6" />
68 <node id="66" lat="32.5" lon="15" />
69 <node id="67" lat="32.5" lon="21" />
70 <node id="68" lat="32.5" lon="36" />
71 <way id="1" >
72   <nd ref="1" />
73   <nd ref="2" />
74   <tag k="name" v="Calle A" />
75 </way>
76 <way id="2" >
77   <nd ref="5" />
78   <nd ref="6" />
79   <tag k="name" v="Calle A" />
80 </way>
81 <way id="3" >
82   <nd ref="17" />
83   <nd ref="18" />
84   <tag k="name" v="Calle A" />
85 </way>
86 <way id="4" >
87   <nd ref="3" />
88   <nd ref="41" />
89   <nd ref="4" />
90   <tag k="name" v="Calle B N" />
91 </way>
92 <way id="5" >
93   <nd ref="7" />
94   <nd ref="43" />
95   <nd ref="8" />
96   <tag k="name" v="Calle B N" />
97 </way>
98 <way id="6" >
99   <nd ref="9" />
100  <nd ref="42" />
101  <nd ref="10" />
102  <tag k="name" v="Calle B S" />
103 </way>
104 <way id="7" >
105   <nd ref="13" />
106   <nd ref="44" />
107   <nd ref="14" />
108   <tag k="name" v="Calle B S" />
109 </way>
110 <way id="8" >
111   <nd ref="11" />
112   <nd ref="49" />
113   <nd ref="12" />
114   <tag k="name" v="Calle C N" />
115 </way>
116 <way id="9" >
117   <nd ref="15" />
118   <nd ref="51" />
```

```

119 <nd ref="16"/>
120 <tag k="name" v="Calle C N" />
121 </way>
122 <way id="10" >
123 <nd ref="19"/>
124 <nd ref="53"/>
125 <nd ref="20"/>
126 <tag k="name" v="Calle C N" />
127 </way>
128 <way id="11" >
129 <nd ref="21"/>
130 <nd ref="65"/>
131 <nd ref="66"/>
132 <nd ref="67"/>
133 <nd ref="68"/>
134 <nd ref="22"/>
135 <tag k="name" v="Paseo" />
136 </way>
137 <way id="12" >
138 <nd ref="23"/>
139 <nd ref="56"/>
140 <nd ref="58"/>
141 <nd ref="24"/>
142 <tag k="name" v="Calle C S" />
143 </way>
144 <way id="13" >
145 <nd ref="27"/>
146 <nd ref="28"/>
147 <tag k="name" v="Calle C S" />
148 </way>
149 <way id="14" >
150 <nd ref="31"/>
151 <nd ref="60"/>
152 <nd ref="32"/>
153 <tag k="name" v="Calle C S" />
154 </way>
155 <way id="12" >
156 <nd ref="25"/>
157 <nd ref="26"/>
158 <tag k="name" v="Calle D" />
159 </way>
160 <way id="13" >
161 <nd ref="29"/>
162 <nd ref="30"/>
163 <tag k="name" v="Calle D" />
164 </way>
165 <way id="14" >
166 <nd ref="33"/>
167 <nd ref="34"/>
168 <tag k="name" v="Calle D" />
169 </way>
170 <way id="15" >
171 <nd ref="1"/>
172 <nd ref="4"/>

```

```
173 <tag k="name" v="Calle E" />
174 </way>
175 <way id="16" >
176 <nd ref="9"/>
177 <nd ref="12"/>
178 <tag k="name" v="Calle E" />
179 </way>
180 <way id="17" >
181 <nd ref="23"/>
182 <nd ref="26"/>
183 <tag k="name" v="Calle E" />
184 </way>
185 <way id="18" >
186 <nd ref="2"/>
187 <nd ref="35"/>
188 <nd ref="3"/>
189 <tag k="name" v="Calle F O" />
190 </way>
191 <way id="19" >
192 <nd ref="10"/>
193 <nd ref="45"/>
194 <nd ref="11"/>
195 <tag k="name" v="Calle F O" />
196 </way>
197 <way id="20" >
198 <nd ref="5"/>
199 <nd ref="36"/>
200 <nd ref="8"/>
201 <tag k="name" v="Calle F E" />
202 </way>
203 <way id="21" >
204 <nd ref="13"/>
205 <nd ref="46"/>
206 <nd ref="16"/>
207 <tag k="name" v="Calle F E" />
208 </way>
209 <way id="22" >
210 <nd ref="6"/>
211 <nd ref="37"/>
212 <nd ref="39"/>
213 <nd ref="7"/>
214 <tag k="name" v="Calle G O" />
215 </way>
216 <way id="23" >
217 <nd ref="14"/>
218 <nd ref="47"/>
219 <nd ref="15"/>
220 <tag k="name" v="Calle G O" />
221 </way>
222 <way id="24" >
223 <nd ref="17"/>
224 <nd ref="38"/>
225 <nd ref="40"/>
226 <nd ref="48"/>
```

```

227 <nd ref="20" />
228 <tag k="name" v="Calle G E" />
229 </way>
230 <way id="25" >
231 <nd ref="18" />
232 <nd ref="19" />
233 <tag k="name" v="Calle H" />
234 </way>
235 <way id="26" >
236 <nd ref="32" />
237 <nd ref="33" />
238 <tag k="name" v="Calle H" />
239 </way>
240 <way id="27" >
241 <nd ref="24" />
242 <nd ref="61" />
243 <nd ref="25" />
244 <tag k="name" v="Calle I O" />
245 </way>
246 <way id="28" >
247 <nd ref="27" />
248 <nd ref="62" />
249 <nd ref="30" />
250 <tag k="name" v="Calle I E" />
251 </way>
252 <way id="29" >
253 <nd ref="28" />
254 <nd ref="63" />
255 <nd ref="29" />
256 <tag k="name" v="Calle J O" />
257 </way>
258 <way id="30" >
259 <nd ref="31" />
260 <nd ref="64" />
261 <nd ref="34" />
262 <tag k="name" v="Calle J E" />
263 </way>
264 <way id="31" >
265 <nd ref="35" />
266 <nd ref="36" />
267 <tag k="footway" v="crossing" />
268 <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
269 <tag k="crossing_ref" v="Tipo3" />
270 <tag k="lanes_number" v="2" />
271 <tag k="angular_crossing" v="no" />
272 <tag k="roundabout" v="no" />
273 </way>
274 <way id="32" >
275 <nd ref="37" />
276 <nd ref="38" />
277 <tag k="footway" v="crossing" />
278 <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
279 <tag k="crossing_ref" v="Tipo2" />
280 <tag k="lanes_number" v="2" />

```

```
281 <tag k="angular_crossing" v="no"/>
282 <tag k="roundabout" v="no"/>
283 </way>
284 <way id="33" >
285 <nd ref="39"/>
286 <nd ref="40"/>
287 <tag k="footway" v="crossing" />
288 <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
289 <tag k="crossing_ref" v="Tipo3"/>
290 <tag k="lanes_number" v="2"/>
291 <tag k="angular_crossing" v="yes"/>
292 <tag k="roundabout" v="no"/>
293 </way>
294 <way id="34" >
295 <nd ref="41"/>
296 <nd ref="42"/>
297 <tag k="footway" v="crossing" />
298 <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
299 <tag k="crossing_ref" v="Tipo1"/>
300 <tag k="lanes_number" v="2"/>
301 <tag k="angular_crossing" v="no"/>
302 <tag k="roundabout" v="no"/>
303 </way>
304 <way id="35" >
305 <nd ref="43"/>
306 <nd ref="44"/>
307 <tag k="footway" v="crossing" />
308 <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
309 <tag k="crossing_ref" v="Tipo2"/>
310 <tag k="lanes_number" v="2"/>
311 <tag k="angular_crossing" v="no"/>
312 <tag k="roundabout" v="no"/>
313 </way>
314 <way id="36" >
315 <nd ref="45"/>
316 <nd ref="46"/>
317 <tag k="footway" v="crossing" />
318 <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
319 <tag k="crossing_ref" v="Tipo1"/>
320 <tag k="lanes_number" v="2"/>
321 <tag k="angular_crossing" v="no"/>
322 <tag k="roundabout" v="no"/>
323 </way>
324 <way id="37" >
325 <nd ref="47"/>
326 <nd ref="48"/>
327 <tag k="footway" v="crossing" />
328 <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
329 <tag k="crossing_ref" v="Tipo2"/>
330 <tag k="lanes_number" v="2"/>
331 <tag k="angular_crossing" v="no"/>
332 <tag k="roundabout" v="no"/>
333 </way>
334 <way id="38" >
```

```

335 <nd ref="49"/>
336 <nd ref="50"/>
337 <tag k="footway" v="crossing" />
338 <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
339 <tag k="crossing_ref" v="Tipo1"/>
340 <tag k="lanes_number" v="2"/>
341 <tag k="angular_crossing" v="no"/>
342 <tag k="roundabout" v="no"/>
343 </way>
344 <way id="39" >
345 <nd ref="51"/>
346 <nd ref="52"/>
347 <tag k="footway" v="crossing" />
348 <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
349 <tag k="crossing_ref" v="Tipo1"/>
350 <tag k="lanes_number" v="2"/>
351 <tag k="angular_crossing" v="no"/>
352 <tag k="roundabout" v="no"/>
353 </way>
354 <way id="40" >
355 <nd ref="53"/>
356 <nd ref="54"/>
357 <tag k="footway" v="crossing" />
358 <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
359 <tag k="crossing_ref" v="Tipo3"/>
360 <tag k="lanes_number" v="2"/>
361 <tag k="angular_crossing" v="no"/>
362 <tag k="roundabout" v="yes"/>
363 </way>
364 <way id="41" >
365 <nd ref="55"/>
366 <nd ref="56"/>
367 <tag k="footway" v="crossing" />
368 <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
369 <tag k="crossing_ref" v="Tipo1"/>
370 <tag k="lanes_number" v="2"/>
371 <tag k="angular_crossing" v="no"/>
372 <tag k="roundabout" v="no"/>
373 </way>
374 <way id="42" >
375 <nd ref="57"/>
376 <nd ref="58"/>
377 <tag k="footway" v="crossing" />
378 <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
379 <tag k="crossing_ref" v="Tipo2"/>
380 <tag k="lanes_number" v="2"/>
381 <tag k="angular_crossing" v="no"/>
382 <tag k="roundabout" v="no"/>
383 </way>
384 <way id="43" >
385 <nd ref="59"/>
386 <nd ref="60"/>
387 <tag k="footway" v="crossing" />
388 <tag k="crossing" v="uncontrolled" />

```



```

389 <tag k="crossing_ref" v="Tipo3"/>
390 <tag k="lanes_number" v="2"/>
391 <tag k="angular_crossing" v="no"/>
392 <tag k="roundabout" v="yes"/>
393 </way>
394 <way id="44" >
395 <nd ref="61"/>
396 <nd ref="62"/>
397 <tag k="footway" v="crossing" />
398 <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
399 <tag k="crossing_ref" v="Tipo3"/>
400 <tag k="lanes_number" v="2"/>
401 <tag k="angular_crossing" v="no"/>
402 <tag k="roundabout" v="no"/>
403 </way>
404 <way id="45" >
405 <nd ref="63"/>
406 <nd ref="64"/>
407 <tag k="footway" v="crossing" />
408 <tag k="crossing" v="uncontrolled" />
409 <tag k="crossing_ref" v="Tipo2"/>
410 <tag k="lanes_number" v="2"/>
411 <tag k="angular_crossing" v="no"/>
412 <tag k="roundabout" v="no"/>
413 </way>
414 <way id="46" >
415 <nd ref="50"/>
416 <nd ref="65"/>
417 <nd ref="55"/>
418 <tag k="name" v="Paseo" />
419 </way>
420 <way id="47" >
421 <nd ref="66"/>
422 <nd ref="57"/>
423 <tag k="name" v="Paseo" />
424 </way>
425 <way id="48" >
426 <nd ref="52"/>
427 <nd ref="67"/>
428 <tag k="name" v="Paseo" />
429 </way>
430 <way id="49" >
431 <nd ref="54"/>
432 <nd ref="68"/>
433 <nd ref="59"/>
434 <tag k="name" v="Paseo" />
435 </way>
436 </topology>

```

B.2. Pesos de los cruces y los obstáculos

En el siguiente listado, se puede ver el archivo que se utilizó para asignar pesos a los cruces y a diferentes tipos de obstáculos que aparecían en el mapa. Los pesos que se pueden ver en este archivo para los diferentes tipos de obstáculos están con un valor igual para todos ellos, pero estos se podían modificar y de hecho se hizo para comprobar como efectivamente los cálculos de la herramienta que calculaba rutas se modificaban al aplicar dichos cambios. Por su parte los pesos de los cruces son tal y como se puede ver los pesos por defecto que también son configurables.

Listing B.2: Archivo properties descriptor de los pesos de obstáculos.

```

1 # Default crossing values
2 CrossingTipo1:1.5
3 CrossingTipo2:2.25
4 CrossingTipo3:3
5 CrossingTrafficLight:0.25
6 CrossingSound:0.25
7 CrossingAngle:2.25
8 CrossingRoundabout:0.5
9 CrossingN:0.36120402
10 # Default obstacle values
11 Obstacle_hanging_trash_bin:1
12 Obstacle_fountain:1
13 Obstacle_wide:1
14 Obstacle_narrow:1
15 Obstacle_parlor:1
16 Obstacle_crowded:1
17 Obstacle_hole:1
18 Obstacle_tree:1
19 Obstacle_bench:1

```

B.3. Resultados simplificados de la validación de pasos de peatones

A continuación se muestran los resultados simplificados de la comprobación de validez de las simulaciones de pasos de peatones. El procedimiento que se llevó a cabo realizaba dos tipos de simulaciones una primera en la que no se tenían en cuenta los pasos de peatones y otro que ya hacía uso de nuestras métricas para validar si los resultados eran correctos o no. Tras estas simulaciones los resultados que comparaban ambas simulaciones se simplificaron para obtener los tramos en los que había disparidades y eso es lo que se muestra en el siguiente listado. Primero se indica la pareja de nodos que se va a comparar y posteriormente se muestran ambas simulaciones enumerando uno tras otro los nodos que se van visitando. La primera de las simulaciones es la que no utiliza nuestra métrica mientras que la segunda si hace uso de

ella:

1. 1 - 15
 - a) 1-2-35-36-8-43-44-14-47-15
 - b) 1-4-41-42-10-45-46-16-51-15
2. 1 - 54
 - a) 1-2-35-36-8-43-44-14-47-48-20-53-54
 - b) 1-4-41-42-10-45-46-16-51-52-67-68-54
3. 1 - 68
 - a) 1-2-35-36-8-43-44-14-47-48-20-53-54-68
 - b) 1-4-41-42-10-45-46-16-51-52-67-68
4. 11 - 67
 - a) 11-45-46-16-51-52-67
 - b) 11-49-50-65-66-67
5. 13 - 35
 - a) 13-44-43-8-36-35
 - b) 13-46-45-10-42-41-3-35
6. 13 - 54
 - a) 13-44-14-47-48-20-53-54
 - b) 13-46-16-51-52-67-68-54
7. 14 - 38
 - a) 14-44-43-7-39-37-38
 - b) 14-47-48-40-38
8. 14 - 65
 - a) 14-44-13-46-45-11-49-50-65
- b) 14-47-15-51-52-67-66-65
9. 16 - 38
 - a) 16-46-13-44-43-7-39-37-38
 - b) 16-51-15-47-48-40-38
10. 16 - 65
 - a) 16-46-45-11-49-50-65
 - b) 16-51-52-67-66-65
11. 20 - 49
 - a) 20-53-54-68-67-66-65-50-49
 - b) 20-48-47-14-44-13-46-45-11-49
12. 24 - 59
 - a) 24-61-62-27-28-63-64-31-60-59
 - b) 24-58-57-66-67-68-59
13. 26 - 59
 - a) 26-25-61-62-27-28-63-64-31-60-59
 - b) 26-23-56-55-65-66-67-68-59
14. 28 - 35
 - a) 28-63-64-31-60-59-68-54-53-20-48-47-14-44-43-8-36-35
 - b) 28-27-62-61-24-58-56-55-65-50-49-12-9-42-41-3-35
15. 28 - 39
 - a) 28-63-64-31-60-59-68-54-53-20-48-40-39
 - b) 28-27-62-61-24-58-57-66-67-52-51-15-47-14-44-43-7-39

- | | |
|--|---|
| 16. 28 - 47 | 23. 31 - 66 |
| <i>a)</i> 28-63-64-31-60-59-68-54-53-20-48-47 | <i>a)</i> 31-64-63-28-27-62-61-24-58-57-66 |
| <i>b)</i> 28-27-62-61-24-58-57-66-67-52-51-15-47 | <i>b)</i> 31-60-59-68-67-66 |
| 17. 29 - 35 | 24. 33 - 55 |
| <i>a)</i> 29-63-64-31-60-59-68-54-53-20-48-47-14-44-43-8-36-35 | <i>a)</i> 33-34-64-63-28-27-62-61-24-58-56-55 |
| <i>b)</i> 29-30-62-61-24-58-56-55-65-50-49-12-9-42-41-3-35 | <i>b)</i> 33-32-60-59-68-67-66-65-55 |
| 18. 29 - 39 | 25. 33 - 57 |
| <i>a)</i> 29-63-64-31-60-59-68-54-53-20-48-40-39 | <i>a)</i> 33-34-64-63-28-27-62-61-24-58-57 |
| <i>b)</i> 29-30-62-61-24-58-57-66-67-52-51-15-47-14-44-43-7-39 | <i>b)</i> 33-32-60-59-68-67-66-57 |
| 19. 29 - 47 | 26. 35 - 51 |
| <i>a)</i> 29-63-64-31-60-59-68-54-53-20-48-47 | <i>a)</i> 35-36-8-43-44-14-47-15-51 |
| <i>b)</i> 29-30-62-61-24-58-57-66-67-52-51-15-47 | <i>b)</i> 35-3-41-42-10-45-46-16-51 |
| 20. 3 - 44 | 27. 35 - 54 |
| <i>a)</i> 3-35-36-8-43-44 | <i>a)</i> 35-36-8-43-44-14-47-48-20-53-54 |
| <i>b)</i> 3-41-42-10-45-46-13-44 | <i>b)</i> 35-3-41-42-10-45-46-16-51-52-67-68-54 |
| 21. 31 - 57 | 28. 35 - 58 |
| <i>a)</i> 31-64-63-28-27-62-61-24-58-57 | <i>a)</i> 35-36-8-43-44-14-47-15-51-52-67-66-57-58 |
| <i>b)</i> 31-60-59-68-67-66-57 | <i>b)</i> 35-3-41-42-9-12-49-50-65-55-56-58 |
| 22. 31 - 65 | 29. 35 - 63 |
| <i>a)</i> 31-64-63-28-27-62-61-24-58-56-55-65 | <i>a)</i> 35-36-8-43-44-14-47-48-20-53-54-68-59-60-31-64-63 |
| <i>b)</i> 31-60-59-68-67-66-65 | <i>b)</i> 35-3-41-42-9-12-49-50-65-55-56-58-24-61-62-27-28-63 |
| | 30. 35 - 66 |

- | | |
|--|--|
| a) 35-36-8-43-44-14-47-15-51-52-67-66 | a) 39-40 |
| b) 35-3-41-42-9-12-49-50-65-66 | b) 39-7-43-44-14-47-48-40 |
| 31. 35 - 68 | 39. 39 - 41 |
| a) 35-36-8-43-44-14-47-48-20-53-54-68 | a) 39-7-43-44-13-46-45-10-42-41 |
| b) 35-3-41-42-10-45-46-16-51-52-67-68 | b) 39-37-6-5-36-35-3-41 |
| 32. 36 - 46 | 40. 39 - 47 |
| a) 36-35-3-41-42-10-45-46 | a) 39-40-48-47 |
| b) 36-8-43-44-13-46 | b) 39-7-43-44-14-47 |
| 33. 36 - 48 | 41. 39 - 48 |
| a) 36-8-43-44-14-47-48 | a) 39-40-48 |
| b) 36-5-6-37-38-40-48 | b) 39-7-43-44-14-47-48 |
| 34. 37 - 40 | 42. 39 - 63 |
| a) 37-39-40 | a) 39-40-48-20-53-54-68-59-60-31-64-63 |
| b) 37-38-40 | b) 39-7-43-44-14-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-27-28-63 |
| 35. 38 - 44 | 43. 39 - 68 |
| a) 38-37-39-7-43-44 | a) 39-40-48-20-53-54-68 |
| b) 38-40-48-47-14-44 | b) 39-7-43-44-14-47-15-51-52-67-68 |
| 36. 38 - 50 | 44. 40 - 43 |
| a) 38-37-39-7-43-44-13-46-45-11-49-50 | a) 40-39-7-43 |
| b) 38-40-48-47-15-51-52-67-66-65-50 | b) 40-48-47-14-44-43 |
| 37. 38 - 65 | 45. 41 - 43 |
| a) 38-37-39-7-43-44-13-46-45-11-49-50-65 | a) 41-42-10-45-46-13-44-43 |
| b) 38-40-48-47-15-51-52-67-66-65 | b) 41-3-35-36-8-43 |
| 38. 39 - 40 | 46. 45 - 58 |
| | a) 45-46-16-51-52-67-66-57-58 |
| | b) 45-11-49-50-65-55-56-58 |

47. 45 - 66
- a) 45-46-16-51-52-67-66
- b) 45-11-49-50-65-66
48. 46 - 53
- a) 46-16-51-52-67-68-54-53
- b) 46-13-44-14-47-48-20-53
49. 47 - 50
- a) 47-14-44-13-46-45-11-49-50
- b) 47-15-51-52-67-66-65-50
50. 47 - 63
- a) 47-48-20-53-54-68-59-60-31-64-63
- b) 47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-27-28-63
51. 47 - 68
- a) 47-48-20-53-54-68
- b) 47-15-51-52-67-68
52. 49 - 51
- a) 49-50-65-66-67-52-51
- b) 49-11-45-46-16-51
53. 5 - 28
- a) 5-6-37-39-40-48-20-53-54-68-59-60-31-64-63-28
- b) 5-36-8-43-44-14-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-27-28
54. 5 - 29
- a) 5-6-37-39-40-48-20-53-54-68-59-60-31-64-63-29
- b) 5-36-8-43-44-14-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-30-29
55. 5 - 63
- a) 5-6-37-39-40-48-20-53-54-68-59-60-31-64-63
- b) 5-36-8-43-44-14-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-27-28-63
56. 51 - 53
- a) 51-52-67-68-54-53
- b) 51-15-47-48-20-53
57. 56 - 66
- a) 56-58-57-66
- b) 56-55-65-66
58. 59 - 61
- a) 59-60-31-64-63-28-27-62-61
- b) 59-68-67-66-57-58-24-61
59. 64 - 65
- a) 64-63-28-27-62-61-24-58-56-55-65
- b) 64-31-60-59-68-67-66-65
60. 64 - 66
- a) 64-63-28-27-62-61-24-58-57-66
- b) 64-31-60-59-68-67-66
61. 7 - 28
- a) 7-39-40-48-20-53-54-68-59-60-31-64-63-28
- b) 7-43-44-14-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-27-28
62. 7 - 29
- a) 7-39-40-48-20-53-54-68-59-60-31-64-63-29

<p>b) 7-43-44-14-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-30-29</p>	<p>b) 7-43-44-14-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-27-28-63</p>
<p>63. 7 - 40</p> <p>a) 7-39-40</p> <p>b) 7-43-44-14-47-48-40</p>	<p>66. 7 - 68</p> <p>a) 7-39-40-48-20-53-54-68</p>
<p>64. 7 - 48</p> <p>a) 7-39-40-48</p> <p>b) 7-43-44-14-47-48</p>	<p>b) 7-43-44-14-47-15-51-52-67-68</p> <p>67. 9 - 67</p>
<p>65. 7 - 63</p> <p>a) 7-39-40-48-20-53-54-68-59-60-31-64-63</p>	<p>a) 9-42-10-45-46-16-51-52-67</p> <p>b) 9-12-49-50-65-66-67</p>

B.4. Resultado simplificado para la validación de rutas coincidentes con el uso de pasos de peatones

En este caso al igual que en el punto anterior se han comparado las rutas con pasos de peatones que pasaban en concreto por el paso de peatones de tipo 3 que se encontraba anexo a una rotonda y se ha comparado en este caso con un plano que carecía de dicho paso de peatones (no había conexión entre los nodos de sus extremos). Los resultados simplificados de esa simulación y que se utilizaron para justificar la validez del método y las métricas fueron los siguientes:

<p>1. 17 - 63</p> <p>a) 17-38-40-48-20-53-54-68-59-60-31-64-63</p> <p>b) 17-38-40-48-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-27-28-63</p>	<p>3. 18 - 27</p> <p>a) 18-19-53-54-68-59-60-31-64-63-28-27</p> <p>b) 18-17-38-40-48-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-27</p>
<p>2. 17 - 32</p> <p>a) 17-38-40-48-20-53-54-68-59-60-32</p> <p>b) 17-38-40-48-47-15-51-52-67-68-59-60-32</p>	<p>4. 18 - 29</p> <p>a) 18-19-53-54-68-59-60-31-64-63-29</p> <p>b) 18-17-38-40-48-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-30-29</p>

- | | |
|--|---|
| 5. 18 - 32 | a) 19-53-54-68-67-66-65-50-49 |
| a) 18-19-53-54-68-59-60-32 | b) 19-53-20-48-47-14-44-13-46-45-11-49 |
| b) 18-17-38-40-48-47-15-51-52-67-68-59-60-32 | |
| 6. 19 - 22 | 13. 19 - 23 |
| a) 19-53-54-68-22 | a) 19-53-54-68-67-66-65-55-56-23 |
| b) 19-53-20-48-47-15-51-52-67-68-22 | b) 19-53-20-48-47-15-51-52-67-66-65-55-56-23 |
| 7. 19 - 34 | 14. 20 - 27 |
| a) 19-53-54-68-59-60-31-64-34 | a) 20-53-54-68-59-60-31-64-63-28-27 |
| b) 19-53-20-48-47-15-51-52-67-68-59-60-31-64-34 | b) 20-48-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-27 |
| 8. 19 - 62 | 15. 20 - 61 |
| a) 19-53-54-68-59-60-31-64-63-28-27-62 | a) 20-53-54-68-67-66-57-58-24-61 |
| b) 19-53-20-48-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62 | b) 20-48-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61 |
| 9. 19 - 30 | 16. 20 - 23 |
| a) 19-53-54-68-59-60-31-64-63-29-30 | a) 20-53-54-68-67-66-65-55-56-23 |
| b) 19-53-20-48-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-30 | b) 20-48-47-15-51-52-67-66-65-55-56-23 |
| 10. 19 - 33 | 17. 37 - 63 |
| a) 19-53-54-68-59-60-32-33 | a) 37-38-40-48-20-53-54-68-59-60-31-64-63 |
| b) 19-53-20-48-47-15-51-52-67-68-59-60-32-33 | b) 37-39-7-43-44-14-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-27-28-63 |
| 11. 19 - 61 | 18. 38 - 28 |
| a) 19-53-54-68-67-66-57-58-24-61 | a) 38-40-48-20-53-54-68-59-60-31-64-63-28 |
| b) 19-53-20-48-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61 | b) 38-40-48-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-27-28 |
| 12. 19 - 49 | |

- | | |
|--|--|
| 19. 38 - 29 | a) 53-54-68-67-66-65-50-49-12 |
| a) 38-40-48-20-53-54-68-59-60-31-64-63-29 | b) 53-20-48-47-14-44-13-46-45-11-49-12 |
| b) 38-40-48-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-62-30-29 | 26. 53 - 26 |
| 20. 5 - 64 | a) 53-54-68-67-66-65-55-56-23-26 |
| a) 5-6-37-38-40-48-20-53-54-68-59-60-31-64 | b) 53-20-48-47-15-51-52-67-66-65-55-56-23-26 |
| b) 5-36-8-43-44-14-47-15-51-52-67-68-59-60-31-64 | 27. 6 - 22 |
| 21. 5 - 32 | a) 6-37-38-40-48-20-53-54-68-22 |
| a) 5-6-37-38-40-48-20-53-54-68-59-60-32 | b) 6-37-39-7-43-44-14-47-15-51-52-67-68-22 |
| b) 5-36-8-43-44-14-47-15-51-52-67-68-59-60-32 | 28. 6 - 34 |
| 22. 53 - 52 | a) 6-37-38-40-48-20-53-54-68-59-60-31-64-34 |
| a) 53-54-68-67-52 | b) 6-37-39-7-43-44-14-47-15-51-52-67-68-59-60-31-64-34 |
| b) 53-20-48-47-15-51-52 | |
| 23. 53 - 25 | 29. 6 - 33 |
| a) 53-54-68-67-66-57-58-24-61-25 | a) 6-37-38-40-48-20-53-54-68-59-60-32-33 |
| b) 53-20-48-47-15-51-52-67-66-57-58-24-61-25 | b) 6-37-39-7-43-44-14-47-15-51-52-67-68-59-60-32-33 |
| 24. 53 - 21 | 30. 7 - 54 |
| a) 53-54-68-67-66-65-21 | a) 7-43-44-14-47-48-20-53-54 |
| b) 53-20-48-47-15-51-52-67-66-65-21 | b) 7-43-44-14-47-15-51-52-67-68-54 |
| 25. 53 - 12 | |

B.5. Resultados cuantitativos validación obstáculos

En el caso de la validación de las métricas para los obstáculos, los análisis realizados también se basaron en una serie de resultados cuantitativos en los que se enumeraba los nodos o las aristas y el número de veces que se visitaba

cada uno para posteriormente ver como iban evolucionando estos según se cambiaban los obstáculos que había presentes en las vías y sus pesos.

B.5.1. Situación Inicial

Repeticiones por nodos:

▪ 33 ->66	▪ 36 ->203	▪ 55 ->367
▪ 22 ->66	▪ 37 ->210	▪ 48 ->367
▪ 26 ->66	▪ 11 ->212	▪ 60 ->385
▪ 1 ->66	▪ 27 ->216	▪ 42 ->392
▪ 18 ->66	▪ 3 ->216	▪ 14 ->397
▪ 21 ->66	▪ 20 ->220	▪ 59 ->405
▪ 34 ->80	▪ 35 ->225	▪ 50 ->416
▪ 25 ->80	▪ 9 ->232	▪ 15 ->418
▪ 29 ->81	▪ 64 ->246	▪ 45 ->427
▪ 19 ->83	▪ 38 ->247	▪ 61 ->429
▪ 2 ->87	▪ 31 ->252	▪ 49 ->431
▪ 4 ->110	▪ 16 ->252	▪ 24 ->443
▪ 30 ->111	▪ 54 ->252	▪ 46 ->447
▪ 17 ->114	▪ 40 ->253	▪ 58 ->483
▪ 23 ->117	▪ 12 ->253	▪ 44 ->489
▪ 32 ->117	▪ 10 ->254	▪ 47 ->524
▪ 5 ->140	▪ 53 ->270	▪ 66 ->557
▪ 8 ->145	▪ 13 ->271	▪ 65 ->557
▪ 39 ->148	▪ 57 ->314	▪ 68 ->582
▪ 6 ->152	▪ 62 ->341	▪ 52 ->608
▪ 28 ->186	▪ 41 ->348	▪ 51 ->632
▪ 63 ->193	▪ 56 ->354	▪ 67 ->778
▪ 7 ->195	▪ 43 ->361	

Repeticiones por aristas:

■ 25-26- ->14	■ 8-43- ->135	■ 65-66- ->238
■ 34-33- ->14	■ 39-7- ->135	■ 40-48- ->242
■ 18-19- ->17	■ 28-63- ->139	■ 12-49- ->242
■ 1-2- ->21	■ 6-37- ->142	■ 10-45- ->243
■ 63-29- ->35	■ 64-63- ->144	■ 46-13- ->252
■ 1-4- ->44	■ 35-3- ->164	■ 57-58- ->262
■ 17-18- ->48	■ 27-28- ->166	■ 66-57- ->299
■ 32-33- ->51	■ 11-49- ->177	■ 55-56- ->316
■ 23-26- ->51	■ 45-11- ->180	■ 41-42- ->318
■ 30-29- ->60	■ 20-53- ->186	■ 61-62- ->320
■ 68-22- ->66	■ 48-20- ->187	■ 43-44- ->331
■ 65-21- ->66	■ 43-7- ->188	■ 59-60- ->350
■ 61-25- ->79	■ 9-12- ->197	■ 65-55- ->351
■ 64-34- ->79	■ 38-40- ->197	■ 44-14- ->356
■ 53-19- ->82	■ 42-10- ->198	■ 45-46- ->363
■ 2-35- ->86	■ 62-27- ->199	■ 14-47- ->371
■ 36-8- ->88	■ 42-9- ->200	■ 47-15- ->372
■ 37-39- ->94	■ 3-41- ->201	■ 49-50- ->375
■ 5-6- ->95	■ 31-64- ->201	■ 50-65- ->390
■ 62-30- ->95	■ 53-54- ->204	■ 24-61- ->391
■ 4-41- ->109	■ 56-58- ->208	■ 68-59- ->393
■ 38-17- ->113	■ 46-16- ->211	■ 51-15- ->397
■ 56-23- ->116	■ 13-44- ->223	■ 67-68- ->403
■ 60-32- ->116	■ 16-51- ->226	■ 58-24- ->428
■ 37-38- ->116	■ 68-54- ->233	■ 67-66- ->509
■ 36-5- ->118	■ 60-31- ->236	■ 51-52- ->573
■ 35-36- ->132	■ 47-48- ->237	■ 52-67- ->576

B.5.2. Segunda simulación (obstáculos en 51, 52, 66, 67 y 68)

Repeticiones por nodos:

■ 22 ->66	■ 9 ->222	■ 53 ->374
■ 26 ->66	■ 37 ->224	■ 59 ->385
■ 1 ->66	■ 28 ->224	■ 52 ->395
■ 18 ->66	■ 3 ->230	■ 42 ->405
■ 21 ->66	■ 35 ->240	■ 14 ->413
■ 33 ->67	■ 31 ->240	■ 66 ->416
■ 25 ->79	■ 12 ->244	■ 51 ->419
■ 34 ->81	■ 27 ->247	■ 56 ->431
■ 29 ->85	■ 63 ->250	■ 55 ->442
■ 2 ->86	■ 15 ->253	■ 61 ->448
■ 19 ->91	■ 57 ->257	■ 48 ->455
■ 17 ->106	■ 38 ->258	■ 24 ->463
■ 30 ->108	■ 40 ->264	■ 47 ->478
■ 4 ->111	■ 64 ->277	■ 46 ->484
■ 32 ->116	■ 10 ->277	■ 58 ->504
■ 8 ->116	■ 20 ->322	■ 44 ->511
■ 23 ->118	■ 13 ->324	■ 50 ->514
■ 39 ->143	■ 43 ->327	■ 45 ->530
■ 5 ->153	■ 11 ->335	■ 67 ->541
■ 6 ->167	■ 54 ->348	■ 49 ->541
■ 7 ->190	■ 62 ->361	■ 68 ->560
■ 36 ->203	■ 41 ->363	■ 65 ->599
■ 16 ->210	■ 60 ->364	

Repeticiones por aristas:

■ 25-26- ->13	■ 37-38- ->135	■ 56-58- ->285
■ 34-33- ->16	■ 35-36- ->150	■ 67-68- ->286
■ 1-2- ->20	■ 6-37- ->156	■ 20-53- ->287
■ 18-19- ->25	■ 65-66- ->157	■ 48-20- ->290
■ 17-18- ->40	■ 46-16- ->175	■ 43-44- ->298
■ 63-29- ->42	■ 35-3- ->177	■ 47-48- ->299
■ 1-4- ->45	■ 16-51- ->178	■ 11-49- ->300
■ 32-33- ->51	■ 28-63- ->180	■ 53-54- ->303
■ 23-26- ->52	■ 43-7- ->183	■ 45-11- ->303
■ 36-8- ->60	■ 9-12- ->187	■ 46-13- ->303
■ 30-29- ->61	■ 42-9- ->190	■ 68-54- ->326
■ 68-22- ->66	■ 31-64- ->197	■ 59-60- ->330
■ 65-21- ->66	■ 27-28- ->201	■ 41-42- ->332
■ 61-25- ->78	■ 57-58- ->206	■ 61-62- ->340
■ 64-34- ->79	■ 38-40- ->208	■ 51-52- ->361
■ 2-35- ->85	■ 47-15- ->208	■ 52-67- ->362
■ 62-30- ->88	■ 63-64- ->210	■ 67-66- ->366
■ 37-39- ->89	■ 60-31- ->216	■ 68-59- ->373
■ 53-19- ->90	■ 41-3- ->216	■ 44-14- ->378
■ 8-43- ->105	■ 42-10- ->220	■ 14-47- ->381
■ 38-17- ->105	■ 62-27- ->226	■ 55-56- ->392
■ 4-41- ->110	■ 51-15- ->231	■ 24-61- ->410
■ 5-6- ->111	■ 12-49- ->234	■ 45-46- ->422
■ 60-32- ->114	■ 66-57- ->241	■ 65-55- ->425
■ 56-23- ->117	■ 40-48- ->253	■ 58-24- ->449
■ 36-5- ->128	■ 10-45- ->267	■ 49-50- ->480
■ 39-7- ->130	■ 13-44- ->278	■ 50-65- ->481

B.5.3. Tercera simulación (obstáculos en 51, 52, 66, 67 y 68 con mayores pesos)

Repeticiones por nodos:

■ 33 ->66	■ 57 ->174	■ 59 ->368
■ 22 ->66	■ 16 ->186	■ 10 ->375
■ 21 ->66	■ 7 ->197	■ 62 ->382
■ 26 ->67	■ 36 ->218	■ 53 ->386
■ 1 ->67	■ 3 ->224	■ 42 ->399
■ 18 ->67	■ 37 ->228	■ 67 ->405
■ 25 ->79	■ 35 ->248	■ 13 ->405
■ 29 ->85	■ 31 ->250	■ 47 ->411
■ 2 ->88	■ 28 ->251	■ 61 ->464
■ 34 ->90	■ 38 ->267	■ 48 ->475
■ 19 ->91	■ 40 ->273	■ 24 ->479
■ 17 ->106	■ 27 ->273	■ 58 ->520
■ 30 ->107	■ 63 ->278	■ 56 ->527
■ 32 ->107	■ 52 ->278	■ 44 ->529
■ 4 ->109	■ 51 ->295	■ 68 ->535
■ 23 ->118	■ 64 ->306	■ 55 ->537
■ 9 ->118	■ 66 ->312	■ 11 ->543
■ 8 ->119	■ 43 ->331	■ 46 ->555
■ 12 ->140	■ 20 ->340	■ 50 ->616
■ 39 ->143	■ 60 ->351	■ 49 ->645
■ 5 ->158	■ 41 ->355	■ 65 ->691
■ 15 ->166	■ 54 ->359	■ 45 ->715
■ 6 ->170	■ 14 ->365	

Repeticiones por aristas:

■ 26-25- ->14	■ 47-15- ->122	■ 40-48- ->262
■ 1-2- ->23	■ 57-58- ->126	■ 43-44- ->294
■ 34-33- ->24	■ 49-12- ->129	■ 20-53- ->299
■ 18-19- ->26	■ 16-51- ->135	■ 47-48- ->306
■ 32-33- ->41	■ 7-39- ->136	■ 59-60- ->313
■ 17-18- ->41	■ 36-5- ->136	■ 48-20- ->314
■ 63-29- ->43	■ 51-15- ->143	■ 53-54- ->316
■ 1-4- ->44	■ 37-38- ->145	■ 42-10- ->319
■ 23-26- ->53	■ 65-66- ->148	■ 41-42- ->326
■ 30-29- ->60	■ 66-57- ->155	■ 14-47- ->326
■ 36-8- ->62	■ 6-37- ->160	■ 54-68- ->335
■ 68-22- ->66	■ 46-16- ->170	■ 44-14- ->337
■ 65-21- ->66	■ 35-36- ->170	■ 68-59- ->356
■ 61-25- ->77	■ 35-3- ->172	■ 61-62- ->357
■ 37-39- ->83	■ 43-7- ->191	■ 13-44- ->359
■ 9-12- ->84	■ 28-63- ->208	■ 10-45- ->364
■ 42-9- ->85	■ 3-41- ->209	■ 56-58- ->381
■ 2-35- ->86	■ 60-31- ->215	■ 46-13- ->384
■ 62-30- ->87	■ 38-40- ->217	■ 24-61- ->426
■ 53-19- ->89	■ 64-31- ->218	■ 58-24- ->465
■ 64-34- ->89	■ 27-28- ->227	■ 45-46- ->488
■ 38-17- ->104	■ 63-64- ->237	■ 55-56- ->489
■ 60-32- ->106	■ 67-68- ->244	■ 11-49- ->509
■ 4-41- ->107	■ 51-52- ->244	■ 45-11- ->510
■ 8-43- ->109	■ 52-67- ->245	■ 65-55- ->518
■ 5-6- ->113	■ 62-27- ->252	■ 50-65- ->581
■ 56-23- ->116	■ 67-66- ->253	■ 49-50- ->584

B.5.4. Cuarta simulación (obstáculos en 49, 50 y 65)

Repeticiones por nodos:

■ 22 ->66	■ 7 ->196	■ 43 ->363
■ 26 ->66	■ 12 ->198	■ 48 ->366
■ 1 ->66	■ 36 ->204	■ 49 ->376
■ 21 ->66	■ 37 ->208	■ 60 ->384
■ 33 ->67	■ 27 ->216	■ 57 ->395
■ 18 ->67	■ 3 ->216	■ 42 ->403
■ 25 ->79	■ 20 ->219	■ 59 ->405
■ 34 ->80	■ 11 ->223	■ 14 ->425
■ 29 ->81	■ 35 ->224	■ 61 ->428
■ 19 ->83	■ 64 ->245	■ 65 ->430
■ 2 ->86	■ 38 ->246	■ 15 ->434
■ 30 ->111	■ 31 ->251	■ 24 ->443
■ 4 ->111	■ 40 ->252	■ 46 ->470
■ 17 ->114	■ 54 ->252	■ 45 ->478
■ 32 ->117	■ 13 ->255	■ 44 ->495
■ 23 ->118	■ 53 ->269	■ 47 ->547
■ 5 ->139	■ 55 ->286	■ 66 ->550
■ 39 ->147	■ 16 ->291	■ 58 ->565
■ 8 ->147	■ 10 ->309	■ 68 ->582
■ 6 ->150	■ 62 ->341	■ 52 ->663
■ 28 ->186	■ 41 ->349	■ 51 ->687
■ 9 ->188	■ 56 ->355	■ 67 ->811
■ 63 ->193	■ 50 ->355	

Repeticiones por aristas:

■ 25-26- ->13	■ 35-36- ->132	■ 40-48- ->241
■ 34-33- ->15	■ 39-7- ->135	■ 46-16- ->249
■ 18-19- ->18	■ 8-43- ->137	■ 42-10- ->253
■ 1-2- ->20	■ 28-63- ->139	■ 16-51- ->266
■ 63-29- ->35	■ 6-37- ->140	■ 65-55- ->270
■ 1-4- ->45	■ 9-12- ->142	■ 56-58- ->290
■ 17-18- ->49	■ 64-63- ->144	■ 10-45- ->298
■ 32-33- ->52	■ 35-3- ->163	■ 41-42- ->318
■ 23-26- ->52	■ 27-28- ->166	■ 61-62- ->320
■ 30-29- ->60	■ 42-9- ->167	■ 49-50- ->320
■ 68-22- ->66	■ 11-49- ->177	■ 50-65- ->323
■ 65-21- ->66	■ 20-53- ->185	■ 43-44- ->331
■ 61-25- ->78	■ 48-20- ->186	■ 57-58- ->343
■ 64-34- ->78	■ 12-49- ->187	■ 59-60- ->350
■ 53-19- ->81	■ 43-7- ->190	■ 66-57- ->380
■ 2-35- ->85	■ 38-40- ->196	■ 44-14- ->383
■ 36-8- ->90	■ 62-27- ->199	■ 45-46- ->388
■ 37-39- ->92	■ 31-64- ->200	■ 47-15- ->389
■ 5-6- ->93	■ 45-11- ->202	■ 24-61- ->390
■ 62-30- ->95	■ 41-3- ->202	■ 68-59- ->393
■ 4-41- ->110	■ 53-54- ->204	■ 14-47- ->400
■ 38-17- ->112	■ 13-44- ->208	■ 67-68- ->403
■ 60-32- ->115	■ 68-54- ->233	■ 51-15- ->412
■ 37-38- ->116	■ 46-13- ->235	■ 58-24- ->429
■ 56-23- ->117	■ 60-31- ->235	■ 67-66- ->520
■ 36-5- ->118	■ 55-56- ->235	■ 51-52- ->628
■ 65-66- ->132	■ 47-48- ->237	■ 52-67- ->631

Bibliografía

- American Foundation for the blind. Low vision and legal blindness terms and descriptions. <http://www.visionaware.org/info/your-eye-condition/eye-health/low-vision/low-vision-terms-and-descriptions/1235>, 2015.
- Apple. Apple maps. <http://www.apple.com/es/ios/maps/>, 2014b.
- Apple. Getting started with ibeacon. <https://developer.apple.com/ibeacon/Getting-Started-with-iBeacon.pdf>, 2014c.
- Apple. Accessibility programming guide for ios. <https://developer.apple.com/library/ios/documentation/UserExperience/Conceptual/iPhoneAccessibility/iPhoneAccessibility.pdf>, 2015a.
- Apple. Voice over. <http://www.apple.com/es/accessibility/ios/>, 2015d.
- CAPP, M. y PICTON, P. The optophone: an electronic blind aid. *Engineering Science & Education Journal*, vol. 9(3), páginas 137–143, 2000.
- CEIPIDOR, U. B., MEDAGLIA, C., RIZZO, F. y SERBANATI, A. Radiovirgilio/sesamonet: An rfid-based navigation system for visually impaired. En *Mobile Guide '06 Conference, Turin, Italy. Retrieved January*, vol. 28, página 2009. 2006.
- ESA. Navipedia - category:glonass. <http://www.navipedia.org/index.php/Category:GLONASS>, 2015a.
- ESA. Navipedia - category:gps. <http://www.navipedia.org/index.php/Category:GPS>, 2015b.
- Federal Space Agency. Information-analytical center. <http://glonass-iac.ru/en/>, 2015.
- FERNANDES, H., COSTA, P., FILIPE, V., HADJILEONTIADIS, L. y BARROSO, J. Stereo vision in blind navigation assistance. 2010.

- GOMEZ, L. Trekker reviewed an advanced gps system for the blind. En *California State University, Northridge Center on Disabilities'21st Annual International Technology and Persons with Disabilities Conference*. 2006.
- Google. Android accessibility guide. <https://developer.android.com/guide/topics/ui/accessibility/index.html>, 2015.
- Google inc. Api de google maps. <https://developers.google.com/maps/>, 2014a.
- Google inc. Google maps. <https://maps.google.com/>, 2014b.
- KAWAI, Y. y TOMITA, F. A support system for visually impaired persons to understand three-dimensional visual information using acoustic interface. En *Pattern Recognition, 2002. Proceedings. 16th International Conference on*, vol. 3, páginas 974–977. IEEE, 2002.
- MEIJER, P. B. An experimental system for auditory image representations. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 39(2), páginas 112–121, 1992.
- Microsoft Corporation. Bing maps. <http://www.bing.com/maps/>, 2014a.
- Microsoft Corporation. Bing maps develop. <http://www.microsoft.com/maps/choose-your-bing-maps-API.aspx>, 2014b.
- MOULTON, B., PRADHAN, G., CHACZKO, Z., MOULTON, B., PRADHAN, G. y CHACZKO, Z. Voice operated guidance systems for vision impaired people: Investigating a user-centered open source model. 2009.
- Nokia. Nokia here. <https://www.here.com>, 2015a.
- Nokia. Nokia here develop. <https://developer.here.com>, 2015b.
- OMS. Gobal data on visual impairment 2010. <http://www.who.int/blindness/publications/globaldata/en/>, 2015.
- OpenStreetMap. Openstreetmap. <https://www.openstreetmap.org>, 2014a.
- OpenStreetMap. Openstreetmap wiki. https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page, 2014b.
- OTAEGUI, O., LOYO, E., CARRASCO, E., FÖSLEITNER, C., SPILLER, J., PATTI, D., MARCOCI, A., OLMEDO, R. y DUBIELZIG, M. Argus: a personalised guidance system to improve autonomy of people with visual impairment in the city. *Real Corp*, páginas 1099 – 1104, 2013.

- RAN, L., HELAL, S. y MOORE, S. Drishti: an integrated indoor/outdoor blind navigation system and service. En *Pervasive Computing and Communications, 2004. PerCom 2004. Proceedings of the Second IEEE Annual Conference on*, páginas 23–30. IEEE, 2004.
- ROSS, D. A. y BLASCH, B. B. Wearable interfaces for orientation and wayfinding. En *Proceedings of the fourth international ACM conference on Assistive technologies*, páginas 193–200. ACM, 2000.
- SAINARAYANAN, G. *On intelligent image processing methodologies applied to navigation assistance for visually impaired*. Tesis Doctoral, Ph. D. Thesis, University Malaysia Sabah, 2002.
- SHARMA, A., PATIDAR, R., MANDOVARA, S. y RATHOD, I. *National conference on Machine Intelligence Research and Advancement (NCMIRA, 12)*, INDIA., vol. 3(2), páginas 17 – 19, 2013.
- SVENNERBERG, G. Beginning google maps api 3. 2010.
- TONNDORF, J. Bone conduction. En *Auditory System*, páginas 37–84. Springer, 1976.
- U.S. Government. gps.gov. <http://www.gps.gov>, 2015.
- ZELEK, J. S., BROMLEY, S., ASMAR, D. y THOMPSON, D. A haptic glove as a tactile-vision sensory substitution for wayfinding. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, vol. 97(10), páginas 621–632, 2003.
- ZÖLLNER, M., HUBER, S., JETTER, H.-C. y REITERER, H. *NAVI—a proof-of-concept of a mobile navigational aid for visually impaired based on the microsoft kinect*. Springer, 2011.

Autorización de difusión

El abajo firmante, matriculado en el Máster en Investigación en Informática de la Facultad de Informática, autoriza a la Universidad Complutense de Madrid (UCM) a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a su autor el presente Trabajo Fin de Máster: “Creación de una metodología y una métrica para el mapeado de zonas urbanas y la generación automática de rutas seguras para personas ciegas y con baja visión”, realizado durante el curso académico 2014-2015 bajo la dirección de los Doctores Pablo Gervás Gomez-Navarro, Raquel Hervás Ballesteros y Gonzalo Méndez Pozo en el Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial, y a la Biblioteca de la UCM a depositarlo en el Archivo Institucional E-Prints Complutense con el objeto de incrementar la difusión, uso e impacto del trabajo en Internet y garantizar su preservación y acceso a largo plazo.

